



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique
las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos
productos y sus procesos de producción.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

AUTOR/A: Lázaro Tarazón, Jorge

Tutor/a: Pacheco Blanco, Bélgica Victoria

Cotutor/a: Pérez Belis, Victoria

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

AGRADECIMIENTOS

A mi novia,
a mis padres,
a mi hermano,
a mi tía,
a mis amigos,
y a la suerte que tengo,
de poder llegar a este punto,
siendo consciente
del porqué puedo estar agradecido con la vida,
y con cada una de las personas que ésta trae a mí.

RESUMEN

La falta de pautas concretas de metodologías Lean aplicadas a procesos de desarrollo de productos, motiva el presente Trabajo de Fin de Máster. Se plantea un doble objetivo: primero, realizar una revisión y análisis de las metodologías Lean aplicadas al diseño de nuevos productos (Lean Design, Lean Manufacturing y otras metodologías Lean que incluyen procesos productivos como Lean Process and Product Development); segundo, proponer un método adaptado aplicable a un producto de diseño industrial.

En consecuencia, la revisión y el análisis presentarán la definición de un marco de trabajo que establecerá pautas y métodos para una eficaz aplicación de la teoría Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción correspondientes. Dicho marco de trabajo se aplicará a un caso práctico, permitiendo valorar las ventajas de su aplicación en el rediseño del producto (Ingeniería Inversa y CAD). Como objetivo final, se pretende validar la eficacia del marco de trabajo definido y evaluar el impacto económico en el ciclo de vida de los productos. Este trabajo busca ser útil para futuras aplicaciones en proyectos de diseño de productos industriales.

Además de la memoria, se presentarán los planos, el pliego de condiciones y los presupuestos.

Palabras Clave: Diseño Lean; LPPD; Diseño de Productos; Diseño de Procesos; Ingeniería Inversa.

RESUM

La falta de pautes concretes de metodologies Lean aplicades a processos de desenvolupament de productes, motiva el present Treball de Fi de Màster. Es planteja un doble objectiu: primer, realitzar una revisió i anàlisi de les metodologies Lean aplicades al disseny de nous productes (Lean Design, Lean Manufacturing i altres metodologies Lean que inclouen processos productius com Lean Process and Product Development); segon, proposar un mètode adaptat aplicable a un producte de disseny industrial.

En conseqüència, la revisió i l'anàlisi presentaran la definició d' un marc de treball que establirà pautes i mètodes per a una eficaç aplicació de la teoria Lean en el desenvolupament de nous productes i els seus processos de producció corresponents. Aquest marc de treball s'aplicarà a un cas pràctic, permetent valorar els avantatges de la seva aplicació en el redisseny del producte (Enginyeria Inversa i CAD). Com a objectiu final, es pretén validar l' eficàcia del marc de treball definit i avaluar l' impacte econòmic en el cicle de vida dels productes. Aquest treball busca ser útil per a futures aplicacions en projectes de disseny de productes industrials. A més de la memòria, es presentaran els plànols, el plec de condicions i els pressupostos.

Paraules clau: Diseny Lean; LPPD; Diseny de Productes; Diseny de Processos; Enginyeria Inversa.

ABSTRACT

The lack of concise guidelines of Lean methodologies applied to product development processes, motivates this Master's Degree Final Project. The objective is twofold: first, to carry out a review and analysis of Lean methodologies applied to the design of new products (Lean Design, Lean Manufacturing and other Lean methodologies that include production processes such as Lean Process and Product Development); second, to propose an adapted method applicable to an industrial design product.

Consequently, the review and analysis will present the definition of a framework that will establish guidelines and methods for an effective application of Lean theory in the development of new products and their corresponding production processes. This framework will be applied to a practical case, allowing to assess the advantages of its application in the product redesign (Reverse Engineering and CAD). As a final objective, it is intended to validate the effectiveness of the defined framework and to evaluate the economic impact on the product life cycle. This work aims to be useful for future applications in industrial product design projects.

In addition to the report, drawings, specifications and budgets will be presented.

Keywords: Lean Design; LPPD; Product Design; Process Design; Reverse Engineering.

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFM

- Memoria
- Presupuesto
- Planos

ÍNDICE DE LA MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación.	1
1.2. Justificación y relevancia.	1
1.3. Alcance y objetivos.	2
CAPÍTULO 2. CONTEXTUALIZACIÓN	3
2.1. Orígenes del Lean.	3
2.2. Evolución y expansión del concepto Lean	8
2.3. Lean Thinking en el desarrollo de productos.	9
2.4. Conclusiones.....	11
CAPÍTULO 3. DEFINICIÓN DEL MARCO DE TRABAJO	15
3.1. Estudio preliminar.....	15
3.1.1. Justificación y síntesis de la propuesta.....	17
3.2. Diseño conceptual	18
3.2.1. Generación de soluciones.	19
3.2.2. Filtrado y eliminación.	19
3.2.3. Convergencia	21
3.2.4. Selección final	21
3.2.5. Justificación y síntesis de la propuesta.....	23
3.3. Diseño de detalle	24
3.3.1. Desarrollo de los subsistemas	26
3.3.2. Integración.....	26
3.3.3. Testeo y refinamiento	27
3.3.4. Justificación y síntesis de la propuesta.....	27
3.4. Integración del marco de trabajo completo.	29

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

CAPÍTULO 4. CASO PRÁCTICO DE APLICACIÓN DEL MARCO DE TRABAJO	31
4.1. Artículo seleccionado.....	31
4.2. Estudio preliminar.....	33
4.3. Diseño conceptual	39
4.4. Diseño de detalle	43
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	49
CAPÍTULO 6. PRESUPUESTO DE LA DEFINICIÓN DEL MARCO.....	51
CAPÍTULO 7. PRESUPUESTO DEL CASO PRÁCTICO.....	52
CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA.....	56
CAPÍTULO 9. PLANOS	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Eje cronológico con los sucesos importantes. Fuente: Elaboración propia. (Basado en Holweg, 2007)	7
Ilustración 2. Comparación entre diseño de sistemas secuencial (arriba) y diseño concurrente basado en subsistemas (abajo). Fuente: Elaboración propia. (Basado en Baines et al., 2006) ..	10
Ilustración 3. Diagrama método Scrum. Fuente: Pavkovik, 2016.....	14
Ilustración 4. Comparación entre sistema 'pull' y 'push'. Fuente: Elaboración propia. (Basado en El-Sayed, 2010).....	16
Ilustración 5. Tabla visita Gemba. Fuente: Mazur, 2014.	16
Ilustración 6. Diagrama Casa de la Calidad (QFD). Fuente: Elaboración propia. (Basado en Akao, 1997 y Mazur, 2014)	17
Ilustración 7. Etapa de estudio preliminar del marco de trabajo Lean para el desarrollo de productos. Fuente: Elaboración propia.	18
Ilustración 8. Esquema ingeniería concurrente basada en subsistemas. Fuente: Elaboración propia. (Basado en Baines et al., 2006).	18
Ilustración 9. Ejemplo cuadro morfológico. Fuente: Pahl et al., 2007.	19
Ilustración 10. Análisis funcional de aspiradora, en forma de árbol. Fuente: Apuntes asignatura DOU, MUII, UPV.	20
Ilustración 11. Análisis funcional de aspiradora, en forma de diagrama. Fuente: Apuntes asignatura DOU, MUII, UPV.	20
Ilustración 12. Análisis estructural del sistema de elevación de lunas de un coche, en forma de diagrama. Fuente: Apuntes asignatura DOU, MUII, UPV.	21

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

Ilustración 13. Análisis estructural del sistema de elevación de lunas de un coche, en forma de árbol. Fuente: Apuntes asignatura DOU, MUII, UPV.	21
Ilustración 14. Modelo teórico de la cadena de fallos. Fuente: Korsunovs et al. (2022)	22
Ilustración 15. Ejemplo estructura diagrama Ishikawa. Fuente: Elaboración propia. (Basado en SME, 1983)	23
Ilustración 16. Etapa de diseño conceptual del marco de trabajo Lean para el desarrollo de productos. Fuente: Elaboración propia.	24
Ilustración 17. Estructura de costes y su determinación. Fuente: Apuntes asignatura DOU, MUII, UPV.....	24
Ilustración 18. Etapa de diseño de detalle del marco de trabajo Lean para el desarrollo de productos. Fuente: Elaboración propia.	29
Ilustración 19. Marco de trabajo Lean para el desarrollo de productos. Fuente: Elaboración propia.	30
Ilustración 20. Fotos de la vista general del producto seleccionado. Fuente: Elaboración propia.	32
Ilustración 21. Foto de detalle del recubrimiento de goma. Fuente: Elaboración propia.	32
Ilustración 22. Foto de los componentes del producto seleccionado. Fuente: Elaboración propia.	33
Ilustración 23. Fotos de detalle de la unión con adhesivos. Fuente: Elaboración propia.	33
Ilustración 24. Fotos de detalle del accionamiento. Fuente: Elaboración propia.	35
Ilustración 25. Casa de la Calidad caso práctico. Fuente: Elaboración propia. (Basado en material de la asignatura de DOU, MUII, UPV).	36
Ilustración 26. Anatomía ósea de la mano. Fuente: Flavia, 2018.	37
Ilustración 27. Análisis de subsistemas y relaciones. Fuente: Elaboración propia.	39
Ilustración 28. Matriz morfológica del caso práctico. Fuente: Elaboración propia.	40
Ilustración 29. Diagrama análisis funcional del caso práctico. Fuente: Elaboración propia.	40
Ilustración 30. Análisis estructural en árbol del caso práctico. Fuente: Elaboración propia.	41
Ilustración 31. Posibles combinaciones de subsistemas. Fuente: Elaboración propia.	42
Ilustración 32. Bocetos. Fuente: Elaboración propia.	44
Ilustración 33. Capturas de los análisis de desmoldeo. Fuente: Elaboración propia en Autodesk Inventor.....	46
Ilustración 34. Sección de perfil en C, de plástico extruido. Fuente: (Röchling Industrial, 2018)	46
Ilustración 35. Captura ensamble completo. Fuente: Elaboración propia en Autodesk Inventor.	47

Ilustración 36. Captura del rediseño final del producto. Fuente: Elaboración propia en Autodesk Inventor.....48

Ilustración 37. Gráfica análisis del incremento en beneficios en función del nº de uds. producidas. Fuente: elaboración propia.....54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplo matriz VoC. Fuente: Elaboración propia. (Basado en Mazur, 2014).16

Tabla 2. Matriz VoC del caso práctico. Fuente: Elaboración propia.34

Tabla 3. AMFE del caso práctico. Fuente: Elaboración propia.....43

Tabla 4. Cálculo costes definición del marco de trabajo. Fuente: elaboración propia.51

Tabla 5. Cálculo de costes indirectos. Fuente: elaboración propia.52

Tabla 6. Costes estimados para la producción. Fuente: elaboración propia.....53

Tabla 7. Cálculo de costes de producción. Fuente: elaboración propia.54

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación.

El presente trabajo, que pretende abordar temas relacionados con el diseño y desarrollo de productos, viene motivado por el propio interés del autor en este campo de conocimiento. Pese al gran abanico de disciplinas que la ingeniería industrial abarca, se ha escogido ésta como objeto de estudio. Además, se abordará la filosofía Lean y su relación con los procesos de desarrollo de productos. El enfoque Lean es un tema que goza de gran popularidad, ha logrado atraer la atención de muchos ingenieros y de la industria en general, del mismo modo que el del propio autor. Así pues, aunque los objetivos finales de este trabajo se verán expuestos a continuación, la motivación de este trabajo nace del interés por ampliar conocimientos en la materia y el deseo de realizar una aportación de utilidad en el área donde el diseño de productos y los métodos Lean convergen.

1.2. Justificación y relevancia.

Desde su aparición, la filosofía Lean se ha extendido de manera vertiginosa, del mismo modo que el interés académico por la misma. Este elevado nivel de atención ha propiciado un crecimiento del concepto no reglado, que puede llegar a incurrir en derivaciones de éste. Actualmente existe un gran número de fuentes de información, lo que no garantiza que todas transmitan el mismo significado acerca de los principios Lean. Así pues, querer tener un acercamiento purista a los conceptos de la filosofía Lean no resulta sencillo. Partiendo de que querer conocer, con fidelidad, los principios originales de esta disciplina no es una tarea trivial, querer tener un profundo entendimiento de metodologías derivadas del Lean, debería pasar por una recapitulación de las bases que sostienen estas metodologías derivadas.

En este trabajo se pretende realizar, en primera instancia, una revisión sobre los orígenes y conceptos principales de la filosofía Lean, para continuar con un análisis de las metodologías derivadas del Lean aplicadas al diseño y desarrollo de productos. Tras concluir con este estudio acerca del 'estado del arte' de las metodologías Lean, se procederá ya de manera fundamentada a definir un marco de trabajo para el diseño Lean de productos. Este objetivo es de relevancia, pues el ejercicio de recapitulación sobre los principios Lean contribuye a combatir la descentralización de conceptos existente, unificando así en este marco de trabajo toda la información útil y aplicable a la práctica, posibilitando así la capacidad de trabajar de manera alineada con estos principios, sin necesidad de depender de especialistas en Lean.

Tras esta parte de índole más teórica, le sigue un ejercicio práctico, en el cual el propio autor procederá a realizar un proceso de rediseño de un producto siguiendo el marco de trabajo previamente definido. Aunque como caso de estudio, del marco de trabajo, este ejercicio puede resultar escueto, el objetivo es más bien didáctico, proporcionando en esta segunda parte del trabajo un desarrollo práctico a modo de ejemplo ilustrativo de empleo del marco de trabajo definido.

1.3. Alcance y objetivos.

Respecto al alcance, cabe recalcar que, en la primera parte, de índole más teórica, la revisión sobre la literatura relacionada con la filosofía Lean, no es una revisión sistemática, se realiza una búsqueda y lectura de artículos relacionados con los temas a tratar para poder obtener un conocimiento del “estado del arte” de la materia y así poder proceder con el desarrollo de esta primera parte del trabajo de manera objetiva y fundamentada.

En relación con el alcance de la segunda parte, de carácter ya práctico, se persigue comprobar empíricamente la bondad del marco de trabajo definido, asumiendo las limitaciones obvias: un proceso de rediseño acotado, llevado a cabo por una única persona, ausencia de interacciones, etcétera. Aun así, esta segunda parte, resulta un entregable de relevancia, ya que, aunque se parte de un punto de vista académico y formativo, se pretende que, en su conjunto con el resto del trabajo, este documento pueda brindar conocimientos y perspectivas de utilidad tanto para el autor como para futuros lectores.

CAPÍTULO 2. CONTEXTUALIZACIÓN

Se realiza una revisión comprensiva desde los orígenes de la filosofía Lean, hasta la evolución y adaptación de sus principios a los procesos de diseño y desarrollo de productos. Tras haber comprendido de primera mano las ideas de la filosofía Lean, se podrá proceder ya, de manera fundamentada a la definición de un marco de trabajo alineado con los principios Lean.

Es importante partir desde la comprensión de los orígenes, para evitar beber de fuentes de información, donde la teoría Lean se vea desprovista de detalle debido a una síntesis excesiva de sus conceptos.

El siguiente capítulo se estructura de tal manera que, se desarrollan unos epígrafes donde se expone, de manera objetiva, la información de relevancia que se ha identificado en las fuentes citadas, y posteriormente, se concluye con un epígrafe que recoge unas observaciones propias del autor donde se subraya lo más relevante, se sacan conclusiones, se señalan contradicciones, en caso de haberlas y en algunos casos se respaldan esas opiniones con otros artículos que secundan y amplían las ideas presentadas.

2.1. Orígenes del Lean.

Aunque es de conocimiento popular que el Lean Manufacturing tiene sus raíces en el Sistema de Producción de Toyota (Toyota Production System, comúnmente referido como TPS), existen otros aspectos que es de suma importancia conocer, pues esta filosofía es el resultado de un progresivo desarrollo tanto teórico como empírico a la vez que fruto de una serie de acontecimientos y factores externos. En definitiva, conocer adecuadamente la historia detrás de la materia Lean no solo brinda una perspectiva importante sobre el tema, sino que anticipa ciertas nociones básicas y ayuda a una mejor comprensión de sus principios. En lo que sigue de epígrafe se relatan los eventos y las personas que propiciaron la existencia de esta filosofía.

Como bien expone Holweg (2007), la fundación de la compañía Toyota se remonta a 1918, cuando Sakichi Toyoda estableció su negocio textil basado en su avanzado telar automático. Inicialmente, la compañía no se llamaba Toyota, este nombre lo adquiriría años más tarde, por motivos de pronunciación y porque Toyota en japonés representaba una simbología más positiva. En 1929 Sakichi vendió las patentes a los hermanos Platts por un valor de 100.000 libras, y fue esta cantidad de dinero la que permitió a Kiichiro, hijo de Sakichi, cumplir su visión¹ de fabricar automóviles.

El comienzo del negocio automovilístico de Toyoda fue difícil, pues el mercado automovilístico Japonés estaba dominado por las filiales locales de Ford y General Motors (GM) que se habían establecido durante los años 20, y sumado a eso la compañía Toyoda estaba atravesando dificultades financieras y de titularidad, después de que Sakichi muriera en 1930 sin haber podido hacer a Kiichiro presidente de la compañía o heredero de su fortuna (Cusumano, 1985,

¹ Existe una versión de este hecho que explica que, en su lecho de muerte, Kiichiro le dijo a Sakichi: "Yo he servido al país con el telar. Quiero que tú le sirvas con el automóvil" (Ohno, 1988, como se citó en Holweg, 2007)

pág. 58). Howleg (2007) señala que pese a ello, Kiichiro prevaleció en su cometido gracias a una nueva ley japonesa que salió en 1930, y que afectaba positivamente al sector de la fabricación de automóviles (pág. 421). Cusumano (1985) explica que Kiichiro y sus ingenieros procedieron con el diseño de su modelo AA (equipado con el motor A), que tanto para el motor como para el automóvil en sí, Toyota se valió del empleo de numerosos componentes de otros fabricantes (Ford y GM), cuya manufactura resultaba muy compleja y costosa (pág. 65).

Holweg (2007) detalla que la producción de camionetas y coches comenzó en 1935 y 1936, respectivamente, y que no fue hasta 1937 cuando se constituyó, ya formalmente, Toyota Motor Company. Sin embargo, la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) interrumpió la producción, y las dificultades económicas de la posguerra dieron lugar a inventarios que únicamente se incrementaban, dada la escasez de ventas de automóviles, situación que en su conjunto devolvió de nuevo a Toyota a lidiar con dificultades financieras. Además, como resultado de unos graves conflictos laborales que tuvieron lugar en 1950, la compañía se vio obligada a dividirse en la parte dedicada a la manufactura y la dedicada a las ventas, y también tuvo lugar la dimisión de Kiichiro.

Por otro lado, el primo de Kiichiro, Eiji Toyoda se convirtió en el director de la rama manufacturera de la compañía y en 1950 fue enviado a Estados Unidos a estudiar los métodos de producción americanos. Resulta que esta práctica de estudiar a los competidores era algo común pues antes de la segunda guerra mundial, una delegación de Toyota había visitado la fábrica de aviones Focke-Wulff en Alemania donde pudieron observar el 'Produktionstakt', que es el concepto a partir del cual más tarde se desarrollaría el 'Takt time'² (Holweg, 2007). Otro caso remarcable que ejemplifica esta práctica es el de Kiichiro, quien estuvo entre los años 1929 y 1930 visitando plantas de producción británicas, después de que su padre Sakichi negociara con los hermanos Platt para que le ayudaran a pasar varios meses en Gran Bretaña (Cusumano, 1985, pág. 58).

Aunque Eiji Toyoda estaba decidido a implementar las técnicas de producción en masa observadas en Estados Unidos, las limitaciones económicas y el bajo volumen del mercado japonés no justificaban la producción en grandes lotes, de tal manera que estos nuevos conocimientos no fueron puestos en práctica hasta 1959, cuando se abrió la primera planta de alto volumen de producción, Motomachi (Holweg, 2007).

Holweg (2007) continúa explicando que, mientras tanto, la simplicidad y versatilidad de los equipos que Kiichiro había comprado durante la década de 1930, fue lo que de alguna manera posibilitó muchos de los conceptos esenciales del TPS, y que la persona clave que supo aprovecharlos, impulsó el desarrollo del TPS y lo hizo capaz de producir en bajos volúmenes con gran variedad, fue Taiichi Ohno.

Por su parte, y volviendo un poco atrás en el hilo temporal, Ohno se unió al negocio textil de Toyoda en 1932, tras graduarse como ingeniero mecánico, y no fue hasta 1943, cuando el negocio textil se disolvió, que se incorporó ya al negocio automovilístico Toyota, sin experiencia previa en la fabricación de automóviles (Holweg, 2007). Pese a no tener ninguna experiencia

² El Takt Time es uno de los conceptos Lean más populares, y se emplea para marcar el ritmo de producción necesario. Consiste en obtener el cociente del tiempo disponible de trabajo para determinado periodo, entre la demanda del cliente para el mismo periodo (normalmente se establece para el periodo diario).

previa en el sector, Cusumano (1985) destaca su enfoque basado en el sentido común, con ausencia de ideas preconcebidas.

Respecto a las primeras observaciones de Ohno, Holweg (2007) dice que, tras analizar las prácticas occidentales señaló dos defectos lógicos a su parecer. El primero era que la producción de piezas en grandes lotes pasaba por grandes inventarios, y por ende, costes elevados y mucho espacio para almacenamiento, además de un elevado número de defectos. El segundo, era la incapacidad para adaptarse al consumidor a la hora de brindarle diversidad en el producto. Al parecer, durante los años veinte, las ventas del modelo T de Ford se desplomaron y se observó que los consumidores preferían comprar Chevrolets de segunda mano porque ofrecían opción de escoger color y equipamiento; y aunque tanto Ford como GM reaccionaron a esto haciendo un esfuerzo por ofrecer variedad en sus productos, Ohno pensaba que estos fabricantes no habían abandonado por completo sus técnicas de producción en masa y para ello se basaban en el empleo de componentes estándar, minimizando así los tiempos de cambio.

Desde 1948 en adelante, Ohno, se dedicó extender por todo Toyota su concepto de producción en pequeños lotes. También dejó patente desde entonces que su principal objetivo, era reducir los costes mediante la reducción de los desperdicios, lo que se conoce como 'Muda', uno de los principios Lean más relevantes. Al parecer, esta es una noción que Ohno adquirió trabajando con el telar automático del negocio textil de Toyoda, el cual, cuando se rompía el hilo, paraba automáticamente sin gastar más material o tiempo. A su vez, este comportamiento autónomo de la máquina también constituye un concepto Lean, llamado 'Jidoka' (Holweg, 2007).

Holweg (2007), señala de nuevo otra visita al extranjero en 1956, en este caso, Ohno visita fábricas de los Estados Unidos en busca de conocimientos o prácticas que le pudieran ser de aplicación. De hecho, a raíz de esta visita desarrolló ideas que incorporó al TPS, como el 'Kanban supermarket', un sistema de control del reabastecimiento de material.

En su libro, Ohno describe dos pilares fundamentales del TPS, la 'autonomation' (en inglés), que es lo mismo que referirse a 'jidoka', y quiere decir automatización con un toque humano, este concepto viene como ya se ha anticipado inspirado por el telar automático de Sakichi; mientras que el otro pilar del TPS es el JIT (Just-In-Time), el cual Ohno dice que proviene de Kiichiro, quien dijo: "En una industria como la de fabricación de automóviles, la mejor manera de trabajar sería tener todas las piezas para el montaje al lado de la línea justo a tiempo para su usuario" (Ohno, 1988, como se citó en Holweg, 2007).

Holweg (2007) desarrolla que, para producir en pequeños lotes con gran variedad (lo cual, siguiendo el pensamiento tradicional, no resultaba económico), Ohno tuvo que modificar los procedimientos de ajustes de las máquinas, para reducir tiempos y convertir en factible este enfoque. Como ya se había anticipado, la simpleza de la maquinaria que Kiichiro había comprado hizo esto posible, pues esa simpleza se traducía en una fácil modificación y adaptación de la misma según el propósito. Estos métodos de reducción de tiempos de cambio fueron más adelante desarrollados por Shigeo Shingo, quien fue contratado en 1955 como consultor externo, y desarrolló el sistema SMED, acrónimo de 'Single-Minute Exchange of Dies'³.

³ Significa que los tiempos de cambio de matrices, o utillajes, en máquina, son solo de una cifra en minutos, o lo que es lo mismo, garantizar tiempos de cambio inferiores a diez minutos.

Este enfoque supuso como resultado la capacidad de producir una variedad de automóviles, en lotes reducidos y a un coste competitivo. Estos cambios resultaron revolucionarios a la vez que contraintuitivos, sin embargo, de manera objetiva, eran adaptaciones necesarias dadas las circunstancias económicas de la época en Japón, pues por 1950 toda la industria japonesa estaba produciendo al año lo que la industria estadounidense producía en menos de tres días (Holweg, 2007, pág. 422).

En su libro 'The Evolution of a Manufacturing System at Toyota', Takahiro Fujimoto describe el TPS como un sistema híbrido, pues adoptaron varios elementos de Ford, de manera selectiva, y combinaron y adaptaron estos elementos, junto con experiencias de otras industrias (por ejemplo la textil), mediante su ingenio e ideas originales. Fujimoto subraya la imaginación y la genialidad de los ingenieros de Toyota, y sentencia el estilo Toyota como híbrido, ni completamente original, ni tampoco imitativo (Fujimoto, 1999, como se citó en Holweg, 2007).

Holweg (2007) explica que el TPS no fue formalmente documentado hasta 1965, cuando los sistemas Kanban fueron extendidos a sus proveedores. Añade que, por este motivo, el TPS pasó desapercibido, por su gradual evolución y porque simplemente no había existido la necesidad de documentarlo. Subraya el hecho de que no había sido guardado como un secreto. Además, Holweg dice que, según Ohno, el TPS solo empezó a atraer atención durante la primera crisis del petróleo en 1973, y concluye, que este evento, junto con la segunda crisis del petróleo en 1979, renovó el interés por la investigación sobre el futuro de la industria del automóvil y supone el punto de partida del Programa Internacional del Vehículo de Motor del MIT (conocido por su acrónimo en inglés IMVP).

Desde este punto de la historia en adelante, este programa de investigación del MIT fue clave en el estudio y disseminación de las ideas Lean, de hecho, fue la publicación del libro 'The Machine that Changed the World' lo que supuso un punto de inflexión en lo que a la difusión de estas prácticas japonesas se refiere. El término 'Lean' para referirse a las prácticas del TPS se debe a este libro. Publicado en 1990, ha sido una obra de referencia dentro de la materia Lean, pese a que, anteriormente, ya se habían dado otras publicaciones de relevancia, también fruto del trabajo en el IMVP del MIT. Holweg (2007), en su artículo, dedica un epígrafe a analizar el porqué de la exitosa popularización de este libro, pues ya se habían realizado varias publicaciones anteriormente con información de la misma calidad, y entre los motivos a los que Holweg achaca este éxito, se destaca su fácil comprensión, el libro se escribió en un lenguaje no académico (motivo por el cual llegó a ser criticado en el MIT), pues se dirigía a ingenieros de producción y ejecutivos de la industria, por otra parte, el libro fue publicado en "el momento justo", ya que la industria se estaba resintiendo en aquel momento de la última crisis del petróleo, y el mensaje del libro transmitía esperanza en forma de técnicas y prácticas que habían probado ser óptimas en situaciones adversas.

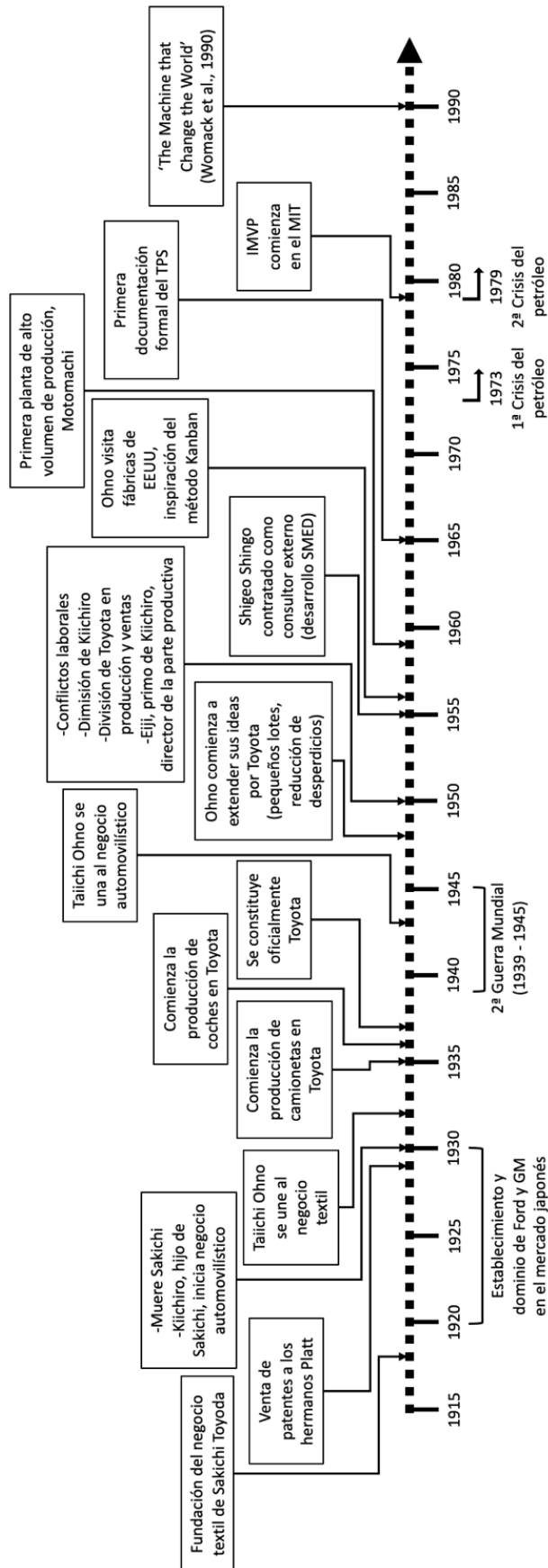


Ilustración 1. Eje cronológico con los sucesos importantes. Fuente: Elaboración propia. (Basado en Holweg, 2007)

2.2. Evolución y expansión del concepto Lean

Aunque la filosofía Lean tiene sus orígenes en los talleres de Toyota, y estas prácticas iban dirigidas, inicialmente, a mejorar el rendimiento de las plantas de producción, mediante una clara focalización en la eliminación de desperdicios, surge, en la década de los noventa, una evolución o ampliación del enfoque Lean, para llevarlo más allá de las paredes de una línea de producción. Este cambio en la dirección de la trayectoria Lean viene de la mano del libro 'Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth for Your Corporation' (1996), cuyos autores, Womack y Jones, son dos de los autores del libro 'The Machine that Changed the World' (1990). Womack y Jones presentaron el 'Lean Thinking' como el término para referirse al concepto de aplicar la mentalidad Lean a otro tipo de actividades, distintas de la producción y dirección de operaciones. Fue la exploración del modelo de empresa, la infraestructura y las prácticas que sustentan la producción Lean, lo que promovió un carácter de transferibilidad; carácter que ya anticiparon en su libro de 1990 (Hines et al., 2004).

En 1996, Womack y Jones postularon el valor como el primer principio del pensamiento lean, sumándose éste a los otros 4 principios con los que sintetizaron la esencia de esta filosofía (Womack y Jones, 1996, como se citó en Hines et al., 2004):

- Identificación del valor para el cliente.
- Gestión del flujo de valor. Se consideró que dicho flujo de valor iba más allá de la fabricación o de una sola empresa, y se extendía desde las necesidades del cliente hasta las fuentes de materias primas.
- Desarrollar la capacidad de mantener un flujo continuo.
- Aplicar el sistema 'pull', lo que se resume en que, se inicia una nueva tarea cuando haya una demanda que lo justifique.
- La búsqueda de la mejora continua del proceso.

Como Hines et al. (2004) señalan, fue de este modo, cómo el concepto Lean, se alejó de un enfoque meramente centrado en la reducción de los residuos y los costes en los talleres y líneas de producción, para adoptar un planteamiento que buscaba mejorar el valor percibido por parte de los clientes, añadiendo características a los productos o servicios y eliminando las actividades del proceso productivo que no aportaran valor al producto. Este fue un avance clave, ya que el valor se vinculó a los requisitos del cliente y dejó de definirse simplemente a través de su opuesto, el despilfarro, en la planta de producción. Se deja claro que es el cliente quien decide en última instancia qué constituye 'muda'⁴ y qué no. Hines et al. (2004) subrayan este hecho ya que, la evolución del concepto Lean llevaba en algunas ocasiones a confusión, y deja patente que, con este nuevo enfoque, cualquier actividad que anteriormente pudiera haber sido calificada de 'muda', desde el punto de vista productivo, ahora, si logra aportar algo de valor para el cliente, no se consideraría 'muda'.

Esta extrapolación de los principios Lean a otras disciplinas, se encuentra con ciertas limitaciones, según Hines et al. (2004), a la hora de lidiar con la variabilidad y la impredecibilidad, motivo por el cual recomienda el empleo de metodologías Agile⁵, o incluso su hibridación con

⁴ 'Muda' es el término Lean para referirse a gasto, desperdicio o despilfarro, y en definitiva, se refiere a todo aquello que no aporta valor al producto, sistema o servicio, y debe ser identificado y eliminado.

⁵ El enfoque Agile, o las metodologías ágiles, vinieron inspiradas a raíz del Lean Thinking. En 2001, se publicó el 'Agile Manifesto', donde se recogían 12 principios (inspirados en el Lean) para el desarrollo de

Lean, para dar respuesta en estas condiciones. Subraya el hecho de que siempre y cuando se respete el primer principio Lean, la identificación y creación de valor para el cliente, es factible la integración de otros enfoques, o herramientas de estos.

2.3. Lean Thinking en el desarrollo de productos.

Como refuerzo de la motivación, para el estudio de la extensión del Lean al desarrollo de productos, se presenta la siguiente cita: “El sistema de desarrollo de productos de Toyota ha sido la clave de su éxito, y el sistema de fabricación Lean de Toyota, es en realidad una extensión de su filosofía de desarrollo de productos y no al revés (Cleveland, 2006, como se citó en Baines et al., 2006)”.

En su artículo sobre el estado del arte del Lean Design⁶ en la ingeniería, Baines et al. (2006), señalan el hecho, que Hines et al. (2004) introducen, sobre la cambiante dirección en el significado Lean. Esta constituye su primera observación relevante en su revisión sistemática y supone el punto de partida en el estudio de la aplicación del Lean al desarrollo de productos.

Si bien queda claro que la adopción del Lean, en disciplinas orientadas al desarrollo de productos, requiere de la adopción del significado Lean que se enfoca en la creación de valor, Baines et al. (2006), valiéndose de ejemplos de otras industrias, explican que, en el software, el principal desperdicio es el exceso de información y las largas cadenas de comunicación (Poppendieck, 2005, como se citó en Baines et al., 2006). Continúan con el sector de la construcción, donde, entendiendo el proceso de diseño como un flujo de información, la reducción de desperdicios vendría a través de la reducción del tiempo que permanece dicha información sin ser usada y la creación de valor viene de capturar los requisitos del cliente y transmitirlos de manera efectiva a lo largo del proceso de diseño (Javier, 2002, como se citó en Baines et al., 2006). Concluyen haciendo referencia al sector aeroespacial, donde se plantea la analogía entre el rol de la información en el flujo de valor dentro del desarrollo de productos, con los materiales en la manufactura (Haque, 2003, como se citó en Baines et al., 2006).

Por otra parte, en su revisión, se recoge el hecho de que el valor en el desarrollo de productos, no está definido con suficiente precisión (Chase, 2000, como se citó en Baines et al., 2006), y se añade que hay un consenso, por parte de varios autores, que se añade valor al producto, cuando durante su desarrollo se genera información útil, del mismo modo que también es posible añadir valor al producto tanto añadiendo como eliminando actividades del proceso de desarrollo (McManus, 2005; Browning, 2000; Haque, 2004, como se citó en Baines et al., 2006). Hasta aquí queda claro que la producción de la información correcta, en el momento adecuado, constituye una creación de valor en el proceso de desarrollo de un producto. Sin embargo, Baines et al. (2006) concluyen que, aun quedando claro el cuándo se ha producido una creación de valor, los elementos o métodos del proceso que logran, o garantizan, esta creación de valor quedan pendientes de ser resueltos.

Se sugiere, por varios autores, la adopción de la ingeniería concurrente basada en subsistemas, como el enfoque más afín a la filosofía Lean. En este enfoque, practicado también por Toyota,

software. Aunque la escuela Agile ha ido más ligada a la industria del software, consta de técnicas de carácter universal.

⁶ El Lean Design es el resultado de aplicar el Lean Thinking a los procesos de diseño y desarrollo de productos.

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

se establecen unas restricciones para todas las funciones a resolver, asegurando la correcta integración de los subsistemas que resuelven cada función (Kennedy, 2004; Liker, 2004, como se citó en Baines et al., 2006). El enfoque tradicional falla a la hora de mantener abierto el espacio de tiempo de diseño tanto como el otro enfoque, que sí que lo consigue, permitiendo evitar decisiones prematuras e incorrectas, asegurando mejor la creación de valor en el producto (McManus, 2005; Ballard, 2001, como se citó en Baines et al., 2006). Se destaca también el hecho de que al explorar en paralelo diferentes alternativas de los subsistemas se genera información de utilidad, aun resultando no factibles las soluciones exploradas pues la información obtenida se puede emplear en futuros desarrollos. Ese avance en paralelo en el proceso de diseño evita iteraciones negativas, como las que se producirían con un enfoque tradicional, donde se desarrolla el producto de manera secuencial (Ballard, 2001, como se citó en Baines et al., 2006).

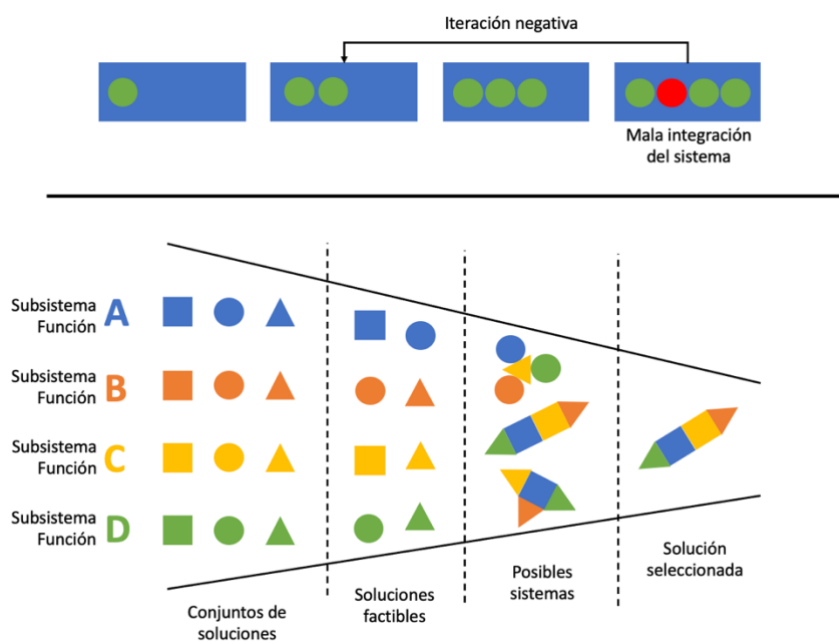


Ilustración 2. Comparación entre diseño de sistemas secuencial (arriba) y diseño concurrente basado en subsistemas (abajo). Fuente: Elaboración propia. (Basado en Baines et al., 2006)

Tras dejar clara la certeza de la alineación de la ingeniería concurrente con la filosofía Lean, se plantea la problemática de la comunicación de dicha información (Mountney et al, 2005, como se citó en Baines et al., 2006). Se sugiere el empleo de sistemas de gestión de la documentación, bases de datos o portales virtuales donde se pueda comunicar y compartir información (Haque y James-Moore, 2002, como se citó en Baines et al., 2006), aunque Baines et al. (2006) acaban señalando que la estandarización de la información y estos procesos o infraestructuras que soporten su gestión quedan pendientes de definición.

Existe también un consenso sobre la importancia de una figura que dirija los procesos de desarrollo de los productos, una persona con amplia experiencia como ingeniero, buenas habilidades de liderazgo y visión de conjunto, enfocada al cumplimiento de objetivos y plazos (Haque, 2004; Oppenheim, 2004; Kennedy, 2004, como se citó en Baines et al., 2006).

Por último, Baines et al. (2006), acaban haciendo referencia al 'Lean Product Development Flow' (LPDF), de Oppenheim (2004), donde se explica su propuesta de mantener un flujo continuo de

trabajo marcado por un ritmo equivalente al Takt Time, es decir, propone una segmentación de las tareas de tal manera que todas se estimen en un tiempo de desarrollo similar, garantizando así la creación de valor mediante un entregable al final de cada periodo de desarrollo o Takt Time. Sin embargo, Baines et al. (2006) concluyen en que no está claro hasta qué punto es necesario el rediseño del flujo de trabajo, en los procesos de desarrollo de productos, en pos de adoptar un enfoque Lean.

2.4. Conclusiones.

Resulta interesante analizar la historia que hay detrás del Lean Manufacturing, ya que al estudiarla en detalle no solo se anticipan algunos de los conceptos más populares (como SMED, Kanban, Muda o JIT) sino que también se pueden observar de primera mano aspectos que, o bien no se les concedió relevancia, o la popularidad de otros conceptos ha podido eclipsar su trascendencia. Esta observación se refiere al hecho de que, aunque hoy en día, la filosofía Lean, se transmite de manera simplificada como una mejora continua que persigue un aumento en la productividad (sin ser esto incorrecto), tras analizar la historia, las prácticas Lean son el resultado de un proceso continuo de aprendizaje, resiliencia y adaptación, así pues, resumir los principios Lean como un aprendizaje continuo, predisposición al cambio y una búsqueda, ya no de aumentar la productividad, sino de alcanzar el nivel de productividad óptimo según la situación de la empresa, resulta igualmente correcto.

Por otra parte, resulta sorprendente el papel que tuvo la observación de otras industrias, incluso otros sectores, en la inspiración o desarrollo de nuevas ideas. Si bien la búsqueda de mejoras en el “interior”⁷ (en la propia compañía en la que se lleven a cabo las prácticas Lean) es un concepto claro en la filosofía, la búsqueda de ideas en el “exterior” no parece ser un concepto contenido dentro de la filosofía Lean (o al menos el autor de este trabajo no ha encontrado constancia de ello) y debería serlo. Actualmente la mayoría de las industrias son razonablemente contrarias a compartir sus conocimientos y su ‘know-how’, pero podría llegar a ser razonable compartir información entre industrias que no compitan en el mismo sector. La historia de Toyota es un ejemplo claro de los beneficios de esta práctica.

Otra observación, fruto del estudio de los orígenes del Lean Manufacturing es que, el TPS parte de una producción de pequeños lotes con elevada variabilidad, que tras consolidar su rentabilidad (y cuando el mercado lo requiera), escala progresivamente hacia una producción en mayores volúmenes. Por contrapartida, la gran mayoría de casos se corresponden a empresas que parten de una producción masiva, probablemente con considerable despilfarro, y quieren pasar a un estado, en el cual de nuevo mantengan su producción masiva, pero con menos despilfarros. Resulta interesante plantear la cuestión de, si además de focalizar en la reducción de despilfarros, sería recomendable un periodo de reducción del volumen de producción, que, de manera inferida en base al caso Toyota, podría ser clave en una exitosa implantación de las prácticas Lean. Esta idea intuitiva, presentaría cierto paralelismo con casos en los que un problema de ingeniería se realiza primero a escala reducida para trasladarlo

⁷ Existe un concepto llamado Gemba que significa “el verdadero lugar”, y se refiere al verdadero lugar donde se crea el valor. Gemba y los paseos Gemba hacen referencia a ese proceso de observación en el interior de una compañía en busca de oportunidades de mejora.

posteriormente a dimensiones reales. Plantear pues, una implementación de técnicas Lean en fases, o de manera escalada resulta un aspecto a tener en cuenta.

En definitiva, estudiar la historia detrás de las prácticas Lean brinda una perspectiva muy completa sobre lo que la filosofía enseña, un proceso de aprendizaje continuo, predisposición al cambio y adaptación al mismo, además de un cuestionamiento del pensamiento tradicional.

Al haber nacido en las plantas de producción, la metodología Lean, dirigía sus esfuerzos a la optimización de la productividad mediante la aplicación de sus principios, a unas actividades conocidas y ya existentes (actividades productivas, como podrían ser mecanizaciones, soldaduras, ensamblajes, etc.), que quieren lograr un fin ya conocido (materializar un producto cuyas características ya han sido especificadas), es en este viaje hacia lo conocido donde resulta comprensible la “optimización de la ruta”, refiriéndose este símil al hecho de eliminar desperdicios a lo largo de ese proceso productivo, pues el objetivo a alcanzar es una constante, y no una variable, a diferencia del recorrido para lograr dicho objetivo.

De manera análoga resulta comprensible que en el Lean Thinking, donde se abarca un sentido más amplio, el foco de atención se traslade a la creación de valor para el cliente, pues en este caso, la variable es el producto o servicio esperado por el cliente, no hay un proceso ya existente que optimizar, se puede decir que lo que se quiere optimizar es, desde un inicio, ese producto o servicio que se va a crear.

Focalizarse en la creación de valor, es el resultado de enfocar la eliminación de desperdicios a un futuro resultado desconocido. Crear únicamente valor, es evitar la creación de futuros desperdicios.

Resulta interesante la comparación entre los materiales en la manufactura y la información en los procesos de diseño y desarrollo. Este símil parece anterior, pues en el artículo sobre el LPDF de Oppenheim (2004), se citan los 7 tipos de desperdicio⁸, originales del Lean Manufacturing, adaptados al desarrollo de productos (Millard, 2001, como se citó en Oppenheim, 2004):

- Sobreproducción (creación de información innecesaria).
- Inventario (mantener más información de la necesaria).
- Transporte (transmisión ineficiente de información).
- Movimiento innecesario (personas que deben moverse para obtener o acceder a información).
- Espera (de información, datos, aprobaciones, liberaciones, etc.).
- Defectos (calidad insuficiente de la información, que requiere retrabajo).
- Sobreprocesamiento (trabajar más de lo necesario para producir el resultado).

Queda claro que la información, en los procesos de diseño y desarrollo de productos, es la moneda de cambio en estos procesos, es el equivalente a los materiales en la manufactura y por tanto es el elemento capaz de constituir un aporte de valor y, a la vez, un despilfarro si se incurre en alguno de los 7 errores arriba descritos.

Al hilo de lo anterior cabe decir que, aunque se comprenden la ventajas que brinda la ingeniería concurrente, y se entiende que el desarrollo en paralelo responde mejor a un enfoque alineado

⁸ Los 7 tipos de desperdicio o ‘muda’, fueron identificados y clasificados por Taiichi Ohno como parte del trabajo de desarrollo del TPS.

con los principios Lean, resulta contradictorio que, con lo citado en el artículo de Baines et al. (2006), “la reducción del desperdicio se logra minimizando el tiempo que transcurre desde que se genera la información hasta que es utilizada” (Javier, 2002, como se citó en Baines et al., 2006), una exploración de un número elevado de alternativas puede generar una situación como la recién citada, o lo que es lo mismo, incurrir en algunos de los tipos de desperdicios, como sobreproducción o inventario, al no poder garantizar que dicha información vaya a ser reutilizada en un futuro. Como conclusión de este aspecto, sobre el enfoque de ingeniería concurrente con exploración de varias alternativas en paralelo, se debería alcanzar un equilibrio de compromiso en el número de alternativas a explorar, garantizando el avance del proyecto, sin generar desperdicios.

Respecto a la estandarización de la información y los sistemas informáticos, que sirvan de soporte para su intercambio y almacenamiento, se debe tener en cuenta el uso de los PLM (Product Lifecycle Management). En los últimos años se han desarrollado estos potentes softwares, concebidos ya para engranarse con los programas CAD/CAM/CAE, que sirven como portal virtual donde confluye toda la información y archivos generados sobre los productos desarrollados. Es recomendable el uso de softwares del mismo fabricante, por ejemplo, si el programa CAD/CAM/CAE de una empresa es PTC Creo, se recomendaría el PLM del mismo desarrollador, en este caso Windchill (generalmente dirigido a empresas más grandes) o Arena (para empresas medianas o pequeñas); otro ejemplo, para NX Unigraphics, que es el CAD/CAM/CAE de Siemens se recomendaría el PLM llamado TeamCenter que también es de Siemens. El hecho de disponer de una plataforma de intercambio, concebida especialmente para estas tareas, favorece la estandarización de la información.

Por último, rescatando la observación de Baines et al. (2006), sobre la falta de definición en los elementos o métodos que garantizan la creación de valor, se puede argumentar que, si cumplir con los requisitos del cliente, equivale a crear valor, y teniendo en cuenta que la generación de información útil (se entiende por información útil, aquella que posibilita, o favorece, el acercamiento a materializar los requerimientos deseados, por los clientes, en el producto) constituye ya una adición parcial de valor al producto; los controles, o revisiones periódicas que certifiquen que se ha producido este evento de creación de valor, son, por ende, elementos clave para garantizar la creación de valor en procesos de desarrollo de productos. A su vez, la segmentación del proceso de desarrollo en tareas acotadas facilitaría ese control de la creación de valor. Al subdividir el proceso, se puede verificar el cumplimiento de tareas una vez finalizado ese subperiodo, pudiendo así despejar la incertidumbre sobre el progreso del diseño, gracias a la prueba de que se ha producido una creación parcial de valor. Este punto es de gran relevancia, pues nos devuelve a la reflexión de Baines et al. (2006) sobre el flujo de trabajo, donde ponen como ejemplo la propuesta de Oppenheim (2004), cuestionando la necesidad de adoptar este método. Pues, no solo se puede concluir que su adopción resultaría favorable y alineada con los objetivos Lean, sino que, además, tras leer el artículo ‘Lean Product Development Flow’ de Oppenheim (2004), resulta más que plausible la similitud de la subdivisión de tareas y los ciclos de trabajo propuestos, con el método Scrum, donde esos cortos ciclos de trabajo, que

Oppenheim (2004) afirma inspirados en una extrapolación del concepto 'Takt-Time', equivaldrían a los 'Sprints' del método Scrum⁹.

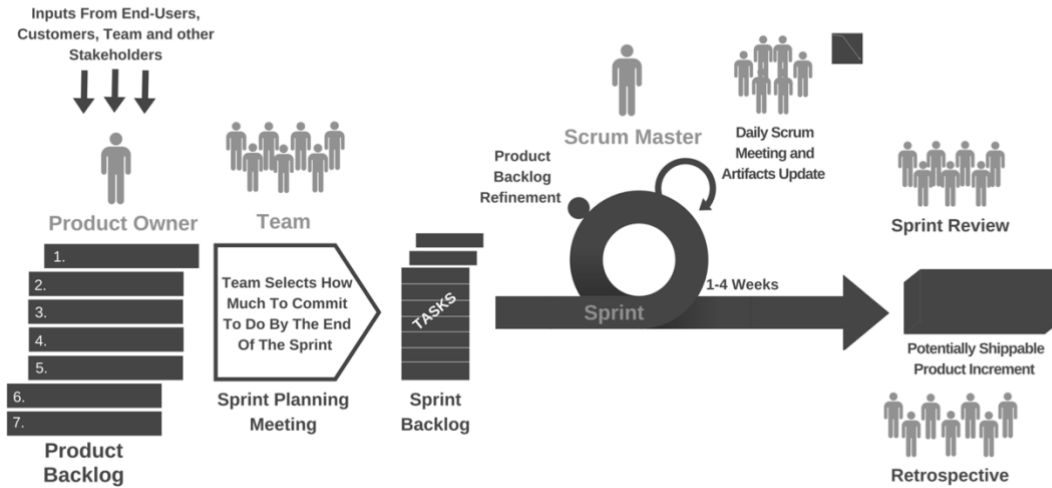


Ilustración 3. Diagrama método Scrum. Fuente: Pavkovik, 2016.

Si bien no se puede demostrar la inspiración, o influencia, del método Scrum en el artículo de Oppenheim (2004), pues ninguna de sus referencias lo vincula a este método, ni a las metodologías Ágiles, sí que se puede observar que, el trabajo de Oppenheim (2004), ha sido posteriormente citado en trabajos vinculados a las metodologías Ágiles.

Este hallazgo, está a su vez respaldado por Hines et al. (2004), quienes, en su artículo, proponen claramente la hibridación de los métodos Lean con las metodologías Ágiles, recomendado para, dar mejor respuesta a la incertidumbre y variabilidad en los proyectos. A su vez, aporta una vía resolutive en lo que a las figuras de liderazgo se refiere, ya que el Scrum establece varios roles, entre los cuales se puede encontrar la respuesta a la necesidad señalada por Baines et al. (2006).

⁹ Metodología de trabajo englobada dentro de las metodologías Ágiles. Su publicación (1995) es anterior al manifiesto Ágil (2001). Aunque realmente se puso en práctica por primera vez en 1993, por Jeff Sutherland, quien en 1995 formalizó el proceso y lo publicó en coautoría con Ken Schwaber. No merece caer en el olvido, que la inspiración de este método se señala en el artículo 'The new new product development game', Takeuchi y Nonaka (1986), donde se estudian los procesos de desarrollo de productos de empresas japonesas, como Fuji y Honda.

CAPÍTULO 3. DEFINICIÓN DEL MARCO DE TRABAJO

En este capítulo, se va a desarrollar la propuesta de un marco de trabajo, para el diseño y desarrollo de productos, en sintonía con los principios Lean. Se van a presentar las diferentes etapas de desarrollo con sus respectivas explicaciones, además de la justificación de sus métodos dentro de un marco de trabajo Lean.

Los siguientes epígrafes se estructuran en una primera explicación que desarrolla el procedimiento de cada fase, junto con las herramientas propuestas para ayudar en su desarrollo, y un subepígrafe donde se desarrolla la justificación de lo propuesto, con una ilustración que sintetiza el procedimiento.

3.1. Estudio preliminar

Queda claro que el valor viene definido por los requisitos del cliente, por tanto, para poder crear valor, se ha de conocer lo que el cliente desea. A este proceso se le suele llamar capturar la voz del cliente, en inglés se puede nombrar mediante el acrónimo VoC (Voice of Customer), y el objetivo es traducir la voz del cliente a la voz del ingeniero (VoE), o lo que es lo mismo, traducir las funciones deseadas en especificaciones de diseño (Mazur, 2014). El enfoque más conocido y eficaz para lograr esto se conoce como QFD¹⁰ (Quality Function Deployment), un método que busca asegurar resultados positivos en la calidad de los productos, mediante su integración en las fases de diseño, asegurando así que se cumplen las funciones requeridas en el producto desde sus fases más tempranas de desarrollo.

Empezando por la captura de 'la voz del cliente', se presenta el término 'Gemba', propio del vocabulario Lean, como la clave de este cometido. Inicialmente, en el Lean Manufacturing, el término 'Gemba', indicaba la introspección de las operaciones productivas, en búsqueda de oportunidades de mejora, sin embargo, con la introducción del Lean Thinking y el consecuente cambio del significado hacia la búsqueda del valor, el objetivo del 'Gemba' deja de ser el interior y se traslada al exterior, refiriéndose al cliente, como el lugar de estudio donde se pueden observar los factores que generan valor (Mazur, 2014). Por lo tanto, esta captura de 'la voz del cliente' se lleva a cabo mediante entrevistas, encuestas, experiencias de usuario o valoraciones de otros productos, etc., y es esta manera de proceder la que ya supone un cambio en favor de la filosofía Lean, al estar alineada con el principio 'pull'¹¹.

¹⁰ El método QFD nace en Japón, el primer libro sobre la materia fue escrito por Yoji Akao, a quien se le atribuye la completa formulación del QFD (Akao, 1997).

¹¹ Se refiere al hecho de que la industria introduce productos o servicios en el mercado en función de la demanda de éste.

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

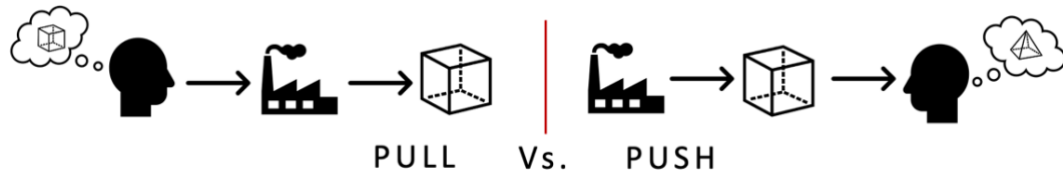


Ilustración 4. Comparación entre sistema 'pull' y 'push'. Fuente: Elaboración propia. (Basado en El-Sayed, 2010).

La información se recoge en tablas 'Gemba' o matrices VoC, más simples que las tablas 'Gemba', ya que estas contemplan observaciones o anotaciones extras, mientras que las matrices VoC sintetizan más la captura de información.

Interviewee: Email: Phone:	John Doe John@Doe.com	Interviewer(s): Date and Time: Place:	MG & JC 12/30/12 7:10pm Sleep Disorders Center			
Customer characteristics (*memorable):	52 year old male professional, obese, travels internationally for work * purple pajamas					
Environment:	Early winter heat and dryness					
Process #	Observations	Verbatims	Team Notes	Clarified Items (measurement)	Benefit or Feature?	
8	patient is awakened and fitted with CPAP/BiPAP mask and machine	Employee did not have on gloves or mask.	Employee was sick and sat next to me and handled the face mask. She did not have on gloves or mask.	What are standards and who is responsible for monitoring staff hygiene?	I don't catch anything from the staff. (not sick within 3 days of procedure) I don't catch anything from other patients. (not sick within 3 days of Clinic staff follow standard hygiene rules. (rules are posted for all to Management enforces hygiene rules. (# sick staff interfacing with patients = 0)	B B F F
12	at discharge, patient receives explanation of results. Rx for CPAP equipment faxed to local medical equipment center	No discussion about how long I would need CPAP therapy, or how to get off it.	Staff prepared to explain "next steps" for patient, not to answer non-routine questions, instead referring patient to discuss with doctor, who is not there.	I can choose where to have Rx filled, since on-line stores charge less than local retail medical equipment center. (option to select supplier Procedure for follow up visit to monitor progress is explained. (make next appointment now) Procedure for discontinuing CPAP when condition improves is explained.	B F F	

Ilustración 5. Tabla visita Gemba. Fuente: Mazur, 2014.

¿Qué dice el cliente?	¿Qué es lo que quiere el cliente?	¿Con qué requerimiento se satisface?
Se capta explícitamente lo que el cliente dice.	Se realiza una síntesis de la necesidad que describe.	Se escribe brevemente a qué requerimiento se asocia la necesidad.

Tabla 1. Ejemplo matriz VoC. Fuente: Elaboración propia. (Basado en Mazur, 2014).

Tras la obtención de esta información, se requiere del análisis relacional de los requerimientos de diseño y su priorización, la herramienta ampliamente conocida, perteneciente al QFD, para efectuar esta traducción de requerimientos del cliente a especificaciones de diseño, a la vez que su priorización, es la 'Casa de la Calidad'.



Ilustración 6. Diagrama Casa de la Calidad (QFD). Fuente: Elaboración propia. (Basado en Akao, 1997 y Mazur, 2014)

La 'Casa de la Calidad' es una potente herramienta capaz de impulsar la creación de valor en el desarrollo de productos, y por tanto, afín al enfoque Lean, sin embargo, su completa alineación con la filosofía Lean puede ser cuestionada, ya que la visión más purista del Lean en el desarrollo de productos, pone al cliente como el centro de atención, y la 'Casa de la Calidad' incluye un análisis competitivo de mercado, lo que puede desviar el enfoque del cliente hacia la competencia, adulterando los objetivos. Se podría argumentar que el tiempo y los recursos dedicados al análisis competitivo podrían invertirse mejor en un mayor número de interacciones con el cliente, o bien en continuar con otras fases del proceso. En favor de una mejor alineación con los conceptos explicados, se recomienda la simplificación de esta parte de la herramienta.

3.1.1. Justificación y síntesis de la propuesta.

Los métodos propuestos se consideran afines a la filosofía Lean, o incluso, lo que resulta más correcto, afines a los principios de Toyota. No es casualidad que el Lean comparta orígenes japoneses con el QFD, pues el TPS no se desarrolló en un vacío, toda la industria japonesa se encontraba en el mismo contexto de reconstrucción económica debido a la posguerra, motivo que impulsó la fijación en la calidad de los productos y la satisfacción del cliente, para asegurar el éxito de lo producido (Akao, 1997). Aunque el QFD no es perteneciente a la filosofía lean, comparten objetivos como la relevancia del cliente y la importancia de la mejora continua, y es por ello que el método propuesto es correcto dentro de un marco Lean

La siguiente imagen ilustra y sintetiza el proceso propuesto en su conjunto, a la hora de proceder con la fase de estudio preliminar, englobada en un proceso Lean de desarrollo de productos.

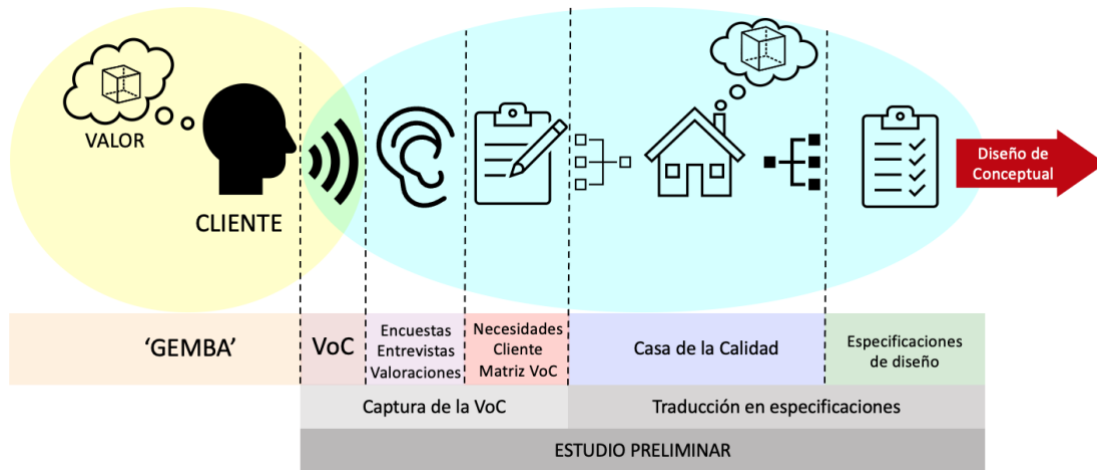


Ilustración 7. Etapa de estudio preliminar del marco de trabajo Lean para el desarrollo de productos. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Diseño conceptual

Una vez capturada y traducida la voz del cliente en especificaciones técnicas a lo largo del estudio preliminar, el proceso avanza hacia la fase de diseño conceptual. En esta fase, como ya se ha explicado en el punto 2.3, el objetivo es explorar un amplio espectro de soluciones posibles que puedan satisfacer las especificaciones técnicas definidas, adoptando un enfoque de ingeniería concurrente basada en subsistemas, permitiendo el desarrollo paralelo de diferentes funciones del producto. Dentro de este proceso se contemplan varias fases: la primera se correspondería a la formulación de posibles soluciones; la segunda corresponde a un cribado o proceso de selección, en el cual, a partir de los conjuntos de soluciones que se han propuesto inicialmente se seleccionan las soluciones que se consideran más factibles; la tercera es la fase en la que, a partir de las soluciones que quedan de la segunda fase, se converge ya en posibles sistemas; por último, la cuarta fase, se corresponde a la selección final de uno de los sistemas, para su posterior diseño de detalle.

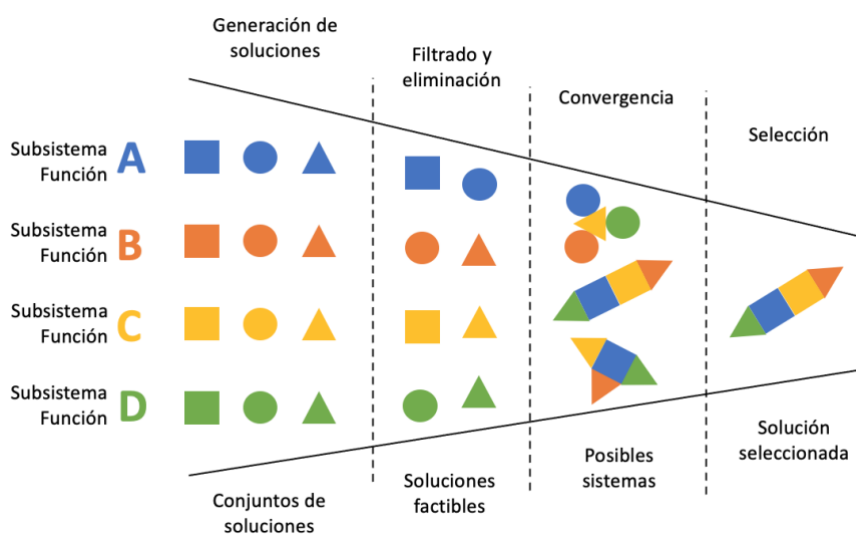


















Ilustración 8. Esquema ingeniería concurrente basada en subsistemas. Fuente: Elaboración propia. (Basado en Baines et al., 2006).

3.2.1. Generación de soluciones.

Para esta fase, en la que se pretende generar un conjunto de soluciones para cada subsistema/función, se empleará la herramienta conocida como ‘cuadro morfológico’¹², donde en formato tabular, se recogen todas las propuestas que dan respuesta a cada subsistema/función. A continuación, se muestra un ejemplo, donde se puede observar la inclusión de pequeñas ilustraciones que ayudan a la comprensión de la solución propuesta.

Solutions	1	2	3	4	...
Sub-functions					
1 Lift					...
2 Sift					...
3 Separate leaves					...
4 Separate stones					...
5 Sort potatoes	by hand	by friction (inclined plane)	checksize (hole gauge)	check mass (weighing)	...
6 Collect	Tipping hopper	Conveyor	Sack-filling device

↓ Combination of principles

Ilustración 9. Ejemplo cuadro morfológico. Fuente: Pahl et al., 2007.

Al generar una matriz que cruza funciones con posibles soluciones, se crean múltiples combinaciones de soluciones parciales que permiten una exploración exhaustiva y sistemática de las opciones disponibles. El objetivo es asegurar que todas las posibles soluciones viables se consideran antes de proceder a la selección, ampliando el espectro de posibles innovaciones y alineando las alternativas con los requerimientos de los clientes.

3.2.2. Filtrado y eliminación.

Para esta fase, se hace uso del cuadro morfológico creado, y partiendo de este contenido se procede a seleccionar las soluciones óptimas. Para esta fase, se recomienda aplicar el pensamiento crítico, en términos de viabilidad económica, de diseño y de fabricación. Aunque en la fase anterior es interesante no acotar la creatividad con estos criterios, en esta fase sí que se debe evaluar la factibilidad del desarrollo de los conjuntos de soluciones propuestos, desde un punto de vista analítico, ya que esta fase está dentro de la etapa de diseño conceptual y los diseños carecen de detalle. Los aspectos para tener en cuenta en este análisis son:

- Dificultad/facilidad de desarrollo.
- Dificultad/facilidad de producción.
- Dificultad/facilidad para su integración con el resto de los subsistemas.
- Interacciones negativas con otros subsistemas.
- Robustez del diseño (fiabilidad y durabilidad).
- Nivel de desempeño en el cumplimiento del requerimiento.

¹² Herramienta propuesta por Fritz Zwicky (Pahl et al., 2007).

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

Se deberán descartar aquellas soluciones que respondan negativamente a todos, o la mayoría de los aspectos mencionados.

Como herramientas para el desarrollo de esta fase se recomienda un análisis funcional (de diagrama o de árbol) para ayudar a devolver el foco de atención a las funciones que debe desempeñar el producto en su conjunto, y poder observar soluciones que pueden incurrir en un sobredesarrollo no justificado, interacciones negativas o incluso generación de efectos no deseados por elevada complejidad. A continuación, se muestran dos ejemplos del análisis funcional de una aspiradora, primero uno en forma de árbol y a continuación otro en forma de diagrama.

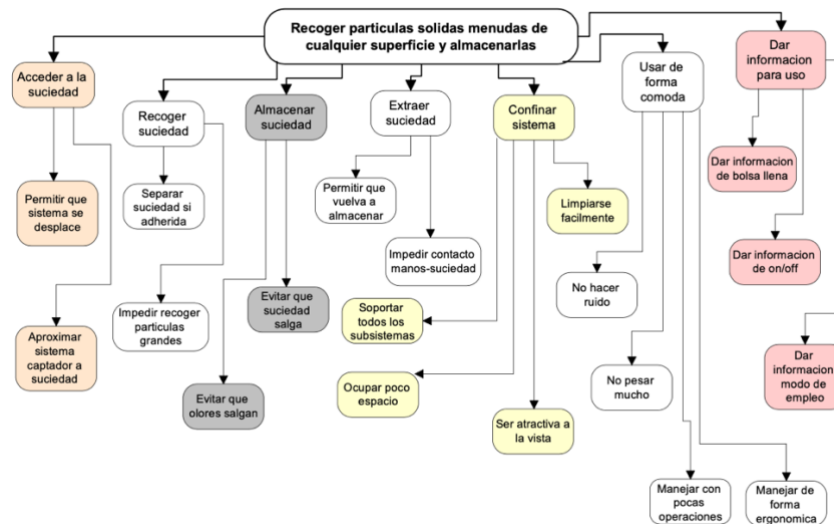


Ilustración 10. Análisis funcional de aspiradora, en forma de árbol. Fuente: Apuntes asignatura DOU, MUII, UPV.

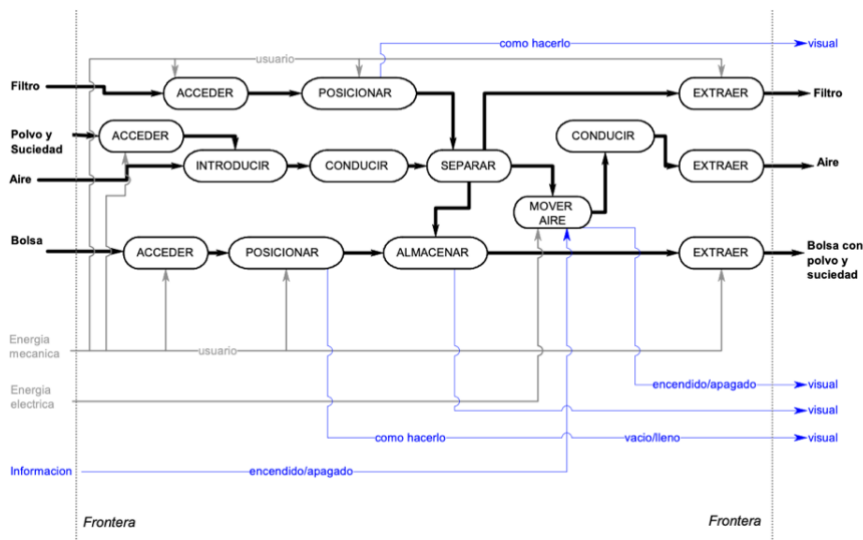


Ilustración 11. Análisis funcional de aspiradora, en forma de diagrama. Fuente: Apuntes asignatura DOU, MUII, UPV.

3.2.3. Convergencia

Tras la eliminación de posibles soluciones no factibles, quedan las óptimas. Partiendo de las remanentes se procede a explorar posibles combinaciones de subsistemas. Aquí de nuevo se ha de aplicar el pensamiento crítico sobre la viabilidad de las posibles soluciones integradas. Los anteriores aspectos tenidos en cuenta en la fase anterior, se han de volver a tener en cuenta ahora, pero a nivel de conjunto. Esta fase es crucial para garantizar que las soluciones seleccionadas puedan coexistir de manera efectiva en un sistema completo

La herramienta propuesta para ayudar en la formulación de sistemas integrados viables es el análisis estructural (de diagrama o de árbol). Esta visión esquemática de conjunto puede ayudar a vislumbrar la coherencia del sistema propuesto. A continuación, se muestran dos ejemplos del análisis estructural del sistema de elevación de lunas de un coche, uno en forma de diagrama y otro en forma de árbol.

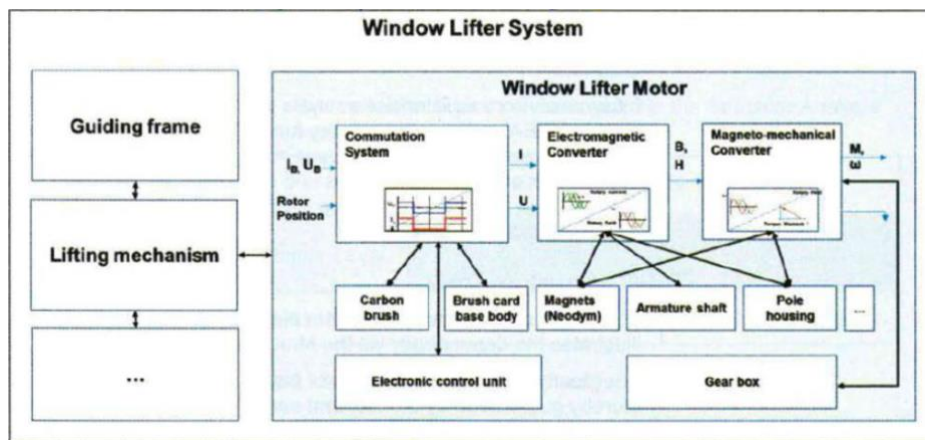


Ilustración 12. Análisis estructural del sistema de elevación de lunas de un coche, en forma de diagrama. Fuente: Apuntes asignatura DOU, MUII, UPV.

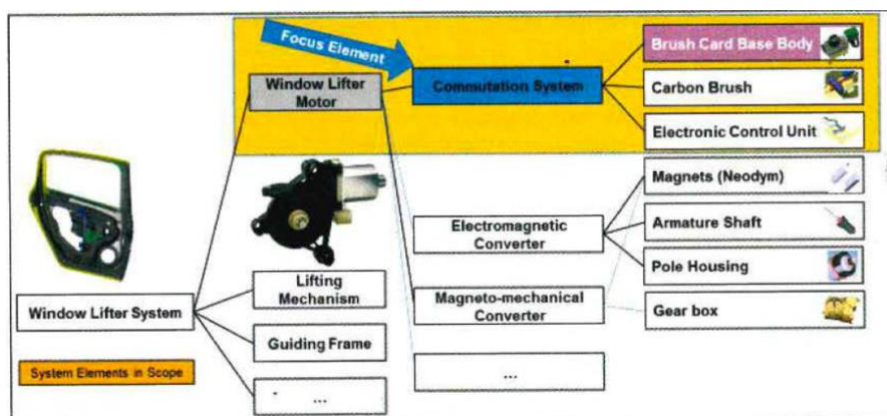


Ilustración 13. Análisis estructural del sistema de elevación de lunas de un coche, en forma de árbol. Fuente: Apuntes asignatura DOU, MUII, UPV.

3.2.4. Selección final

En esta fase se escoge una de las opciones generadas en la anterior fase. De nuevo se debe realizar la elección en función de qué sistema es más eficaz en el desempeño de las funciones esperadas por el cliente, a la vez que teniendo en cuenta, qué solución resulta más factible a la hora de ser desarrollada y producida. Además, es interesante asegurar la robustez del diseño

final, ya que se está tomando una decisión definitiva. Para ello se propone el uso del AMFE¹³, como herramienta para corroborar la bondad del sistema. Consiste en una tabla donde se recogen los posibles modos de fallo de los elementos del sistema, la causa del fallo, el efecto que produciría el fallo en el funcionamiento del producto, método de detección, medidas preventivas y puede llegar a incluir más información adicional si se realiza en fases más avanzadas del diseño, como por ejemplo responsables de la acción correctora, o incluso índices que cuantifican el riesgo. Los análisis de este tipo pueden llegar a ser muy exhaustivos, pero en este caso, dada la falta de concreción y definición propia de una etapa aún de diseño conceptual, lo que se pretende es identificar de antemano las posibles debilidades del sistema final, para asegurar, en la medida de lo posible, la seguridad de la decisión final, a la vez que subrayar aspectos importantes a tener cuenta durante el proceso de diseño de detalle. Por lo tanto, el AMFE realizado en esta fase, se centrará en lo principal:

- El efecto del fallo. ¿Qué pasa debido al fallo?
- El modo de fallo. ¿Cómo falla?
- La causa del fallo. ¿Por qué falla?
- Observación o medida preventiva.

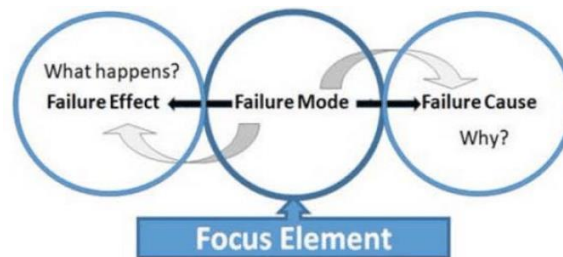


Ilustración 14. Modelo teórico de la cadena de fallos. Fuente: Korsunovs et al. (2022)

De manera complementaria a este análisis AMFE, también se recomienda la realización de un diagrama Ishikawa¹⁴ de causa-efecto. Aunque este diagrama no puede llegar a recoger tanta información como el AMFE, al nivel de desarrollo en el que se encuentra esta fase, se cubre la misma necesidad, además de permitir agrupaciones por efectos de fallo.

Puede parecer redundante el uso de ambas herramientas, ya que, salvando las distancias, ambas cumplen el mismo cometido, sin embargo, disponer de información ya almacenada en formato tabular resulta muy útil debido al extenso uso de herramientas de ofimática que se realiza en la actualidad, mientras que el diagrama Ishikawa permita una asociación más rápida de ideas dado su alto impacto visual. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo que ilustra la estructura del diagrama Ishikawa.

¹³ Análisis Modal de Fallos y Efectos. Tiene su origen en la industria aeroespacial, los primeros análisis de este estilo fueron llevados a cabo durante la década de los sesenta, con la intención de mejorar la seguridad (Mikulak et al., 2008).

¹⁴ El diagrama Ishikawa de causa-efecto (o diagrama de espina de pescado) fue creado por el Dr. Kaoru Ishikawa.

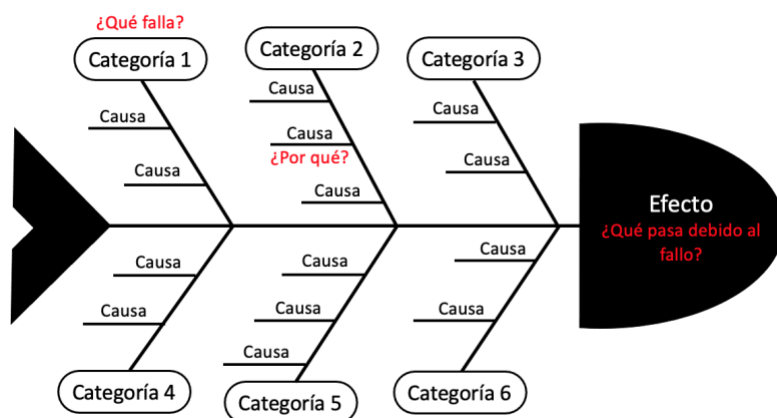


Ilustración 15. Ejemplo estructura diagrama Ishikawa. Fuente: Elaboración propia. (Basado en SME, 1983)

3.2.5. Justificación y síntesis de la propuesta.

Los métodos y herramientas propuestos para la etapa de diseño conceptual, se consideran adecuados para su inclusión en un marco de trabajo Lean.

Por su parte, la ingeniería concurrente basada en subsistemas, se ha presentado ya en el punto 2.3 como el enfoque adecuado para conducir esta exploración de diferentes soluciones de manera paralela. Este método, justificado por Baines et al.(2006) como afín a una estrategia Lean, se ha decidido de inclusión necesaria en la definición de este marco, aunque relegado a la etapa de diseño conceptual, teniendo en cuenta la observación presentada en el punto **Error! Reference source not found.**, sobre el riesgo de incurrir en una generación de excesiva información, o lo que es lo mismo, un desperdicio de tiempo y recursos, al explorar demasiadas alternativas en profundidad. Al situar este enfoque de ingeniería concurrente en esta etapa, se previene dicho riesgo, dado al acotado nivel de desarrollo de una etapa de diseño conceptual.

Por otra parte, tanto los cuadros morfológicos, como el análisis funcional y estructural, son herramientas simples y flexibles, capaces de recoger información de manera sintetizada, pero consistente. Estas herramientas, aunque no son originarias del Lean, son directas y eficaces en su cometido, presentando además una naturaleza muy visual, características que se corresponden con las de herramientas propias del Lean, Kanban o VSM¹⁵ son ejemplos fehacientes de ello.

Respecto al AMFE y el diagrama Ishikawa se puede argumentar también, que su capacidad de síntesis y su efectividad, tanto para recoger como para transmitirla, convierte a dichas herramientas en adecuadas para su aplicación dentro un marco de trabajo Lean. De hecho, cabe destacar que el diagrama Ishikawa, tiene también sus orígenes en Japón, y se empleaba dentro del TQC¹⁶, que es a su vez, el paraguas bajo el cual se desarrolló el QFD (Akao, 1997).

¹⁵ El 'Value Stream Mapping', que originariamente en Toyota se conocía como 'Material and Information Flow Mapping', es una herramienta que se emplea para mapear, o representar de manera gráfica todos los pasos e intervinientes en la cadena de creación de valor, o lo que es lo mismo, graficar toda la cadena de suministro, desde proveedores que proporcionan la materia prima, hasta la figura del consumidor que recibe el producto, pasando por los procesos producción de este producto (Rother & Shook, 1999).

¹⁶ El 'Total Quality Control' fue el resultado de la integración de las enseñanzas del Dr. Juran y el Dr. Kaoru Ishikawa sobre el sistema de control de calidad vigente en aquella época en Japón, el SQC ('Statistical

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

La información generada en esta etapa permite poner en situación, rápidamente, a los futuros integrantes del equipo de diseño, sobre posibles vías de desarrollo alternativas, en caso de su necesidad. La siguiente imagen ilustra y sintetiza el proceso propuesto en su conjunto, a la hora de proceder con la etapa de diseño conceptual de un marco de trabajo Lean para el diseño y desarrollo de productos.

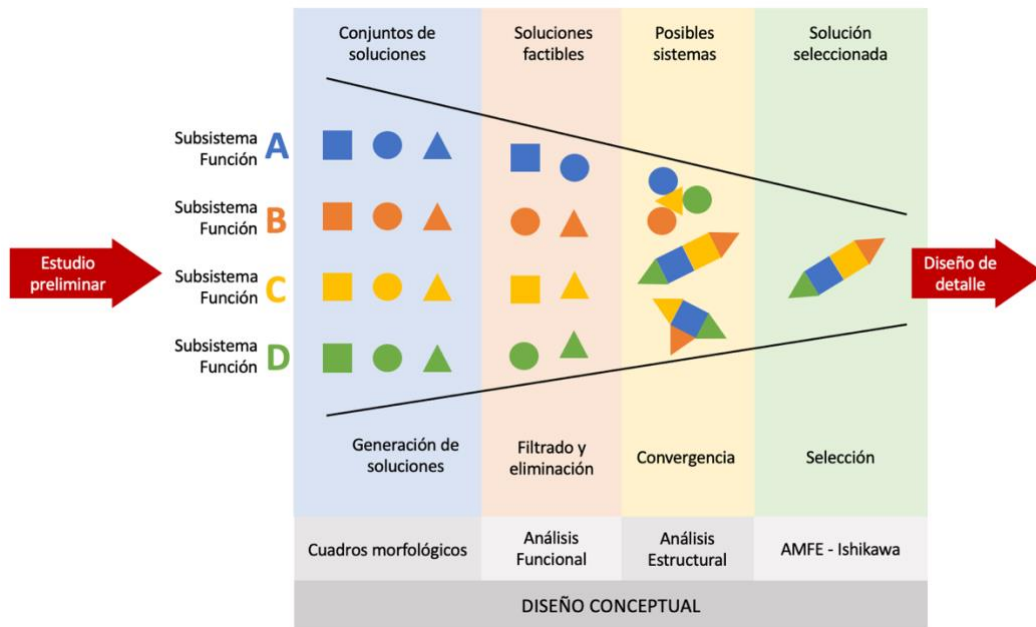


Ilustración 16. Etapa de diseño conceptual del marco de trabajo Lean para el desarrollo de productos. Fuente: Elaboración propia.

3.3. Diseño de detalle

Esta etapa consume el grueso del tiempo y los recursos del proceso de desarrollo de productos, y a su vez, como se recoge en la literatura, es el diseño de un producto el que llega a comprometer hasta más del 70% de los costes totales del ciclo de vida del producto (National Research Council, 1991), la siguiente gráfica ilustra este hecho.

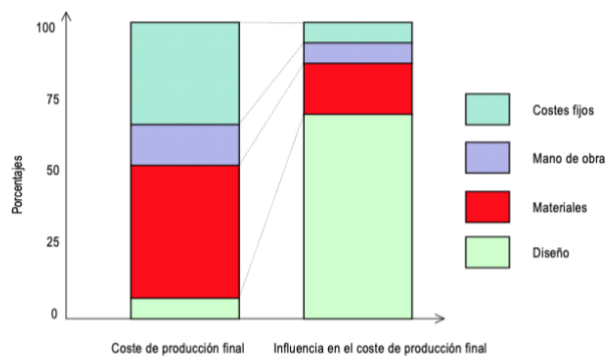


Ilustración 17. Estructura de costes y su determinación. Fuente: Apuntes asignatura DOU, MUII, UPV.

Quality Control'). Esta consolidación de la evolución del SQC al TQC, fue impulsada por el Dr. Feigenbaum, quien en 1961 publicó 'Total Quality Control' (Akao, 1997).

Debido a ello, es importante dictaminar un camino fijo que asegure la mitigación de las posibles consecuencias negativas que puede llegar a tener esta relación. Hasta esta etapa se ha intentado dibujar dicho camino que asegure la toma de las mejores decisiones, sin embargo, es en esta etapa de desarrollo más laboriosa, donde una propuesta de herramientas, de manera desarticulada, no es suficiente para despejar toda la incertidumbre que enfrenta el proceso. Para ello, como se ha argumentado en el punto **Error! Reference source not found.**, se propone el método Scrum para que, a un nivel micro, dictamine el flujo y el ritmo de trabajo, y sirva de guía para alcanzar una generación de valor en los plazos esperados. Es importante tener en cuenta que, el método Scrum propone unas cifras exactas en lo que, a plazos de desarrollo, miembros de equipos y reuniones se refiere. Aunque se supone correcto operar dentro de estas recomendaciones, se propone el ajuste de estas cifras predefinidas, a la cantidad estimada como más acorde al sector y tamaño de la empresa, respetando siempre la presencia de los 3 roles de los miembros de un equipo Scrum y los eventos que se dan en dichos procesos. Esta propuesta de ajuste del Scrum a las necesidades de la empresa se recomienda llevar a cabo tras la finalización de cada proyecto realizado bajo esta metodología, de tal manera, que tras varios proyectos se hayan realizado varias adaptaciones, acercando el método a su configuración óptima para dicha empresa. Los puntos principales de la metodología Scrum se exponen a continuación (Schwaber & Sutherland, 2020):

- La unidad fundamental del Scrum es el equipo Scrum.
- En un equipo Scrum, no hay jerarquías, es un equipo multidisciplinar que constituye una unidad cohesionada que comparte un mismo objetivo.
- Un equipo se compone generalmente de 10 o menos personas (equipos más pequeños se comunican mejor y son más productivos).
- Existen diferentes eventos dentro de un proceso Scrum.
 - El 'Sprint'. Un elemento muy importante en Scrum, referido como el marcapasos de Scrum, ya que son los propios ciclos de desarrollo, al final de los cuales se espera la creación de un incremento de valor en el producto. Un sprint comienza inmediatamente después de la conclusión del anterior, y se establece una duración de más o menos un mes.
 - La planificación del 'Sprint'. Este evento inicia el 'Sprint', estableciendo la cantidad de trabajo que se realizará para el mismo. Esto significa que se establece un debate con el 'Product Owner', donde los desarrolladores seleccionan los elementos del 'Product Backlog' que van a incluir en el 'Sprint'.
 - El Scrum diario. Es una reunión de 15 minutos máximo para los desarrolladores de Scrum. Los desarrolladores pueden conducir la reunión como deseen, siempre que se centren en el progreso hacia el objetivo del 'Sprint' y produzcan un plan accionable para el día siguiente. Este evento busca mejorar la comunicación y transparencia del equipo, y pretende eliminar la necesidad de otras reuniones.
 - 'Sprint review'. La revisión del 'Sprint' consiste en una reunión dedicada a inspeccionar el resultado del 'Sprint' y determinar futuras adaptaciones. Se considera adecuado un plazo de 4 horas para un 'Sprint' de un mes, para 'Sprints' más cortos, menos. Se centra en el resultado del trabajo y en adaptar el 'Product Backlog'.

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

- ‘Sprint retrospective’. La retrospectiva del ‘Sprint’ se centra en planificar formas de aumentar la calidad y la eficacia del propio ‘Sprint’ y se inspecciona cómo fue respecto a individuos, interacciones, procesos y herramientas. Busca mejorar el propio proceso.
- Los equipos Scrum constan de un ‘Scrum Master’, un ‘Product Owner’ y los desarrolladores.
 - Los desarrolladores. Son las personas que se comprometen a crear un incremento útil/funcional en cada ‘Sprint’. Son responsables de la creación del ‘Sprint Backlog’, que es el plan o lista de tareas del ‘Sprint’.
 - El ‘Product Owner’. Es el responsable de maximizar el valor del producto y de la creación del ‘Product Backlog’, que es la lista de los elementos de trabajo pendiente del producto. También es responsable de asegurarse de que el objetivo y la lista de elementos de trabajo pendiente del producto son bien comprendidos
 - El ‘Scrum Master’. Es el responsable de establecer Scrum, ayudando a todos a comprender la teoría y la práctica, tanto dentro del equipo como en toda la organización. Son líderes que sirven al equipo de Scrum, capacitando a los miembros en autogestión, eliminando los impedimentos que bloqueen el progreso del equipo y asegurándose que se cumplen todos los eventos Scrum positiva y productivamente.

3.3.1. Desarrollo de los subsistemas

Es en esta primera fase donde se llevarán a cabo los desarrollos de cada subsistema. Se plantea que, en función del tamaño de la empresa y la envergadura de sus proyectos, un equipo Scrum pueda llevar a cabo el desarrollo de cada subsistema por separado, o diferentes grupos Scrum desarrollen paralelamente cada subsistema, o incluso si los proyectos son de gran magnitud, varios equipos Scrum pueden trabajar paralelamente en el desarrollo de un mismo subsistema.

El grueso de la etapa de diseño de detalle se debería encontrar aquí. Es de suma importancia que equipos de diseño lleven a cabo un desarrollo consciente, aplicando las mejores prácticas, como puede ser, el hecho de tener en cuenta, aspectos relacionados con un diseño óptimo para el ensamblaje y la manufactura (DFMA – ‘Design For Manufacturing and Assembly’) o diseños que comulguen con los principios Lean ‘Poka-Yoke’¹⁷ o SMED, también se recomienda llevar a cabo las simulaciones y análisis por elementos finitos (FEM/FEA) que sean pertinentes, evitando así iteraciones por prototipado innecesarias, de esta manera las siguientes fases no deberían dar lugar a incidencias.

3.3.2. Integración

Durante esta fase se realizan las integraciones de los diferentes subsistemas en el sistema final. Es en esta fase donde se espera la posible aparición y resolución de incidencias, para la mejora de la integración de los subsistemas, aunque, como ya se ha explicado, si los desarrollos se han

¹⁷ Significa ‘a prueba de errores’, inicialmente debido a la naturaleza del Lean, dirigida a la producción, se refería a acondicionar las máquinas de manera sencilla, imposibilitando así incurrir en alguna acción errónea, garantizando tanto la calidad como la seguridad del operario. En el caso del diseño y desarrollo de productos se refiere a diseños que facilitan tanto su montaje como la experiencia de usuario.

llevado a cabo de manera correcta y ha habido una correcta comunicación entre equipos, debería estar garantizada una satisfactoria integración.

Los 'Product Owners', además de desarrollar la lista de elementos de trabajo pendiente ('Product Backlog') propios de la fase de desarrollo de los subsistemas, deberán anticipar también los eventos integrativos y sus respectivos 'Product Backlogs'. Las incidencias que se den en el proceso se pueden o bien resolver durante los propios ciclos de trabajo ('Sprints') o bien comunicarlos al 'Product Owner' para que los incorpore al 'Product Backlog'. De estas incidencias se esperan tareas de optimización del diseño para mejorar la integración de los subsistemas.

Se considera que se puede avanzar a esta fase, cuando se ha finalizado el desarrollo de dos subsistemas que permiten ser ya integrados ente ellos. Esta fase se da por concluida, cuando se haya realizado la correcta integración de todos los subsistemas en un modelo ya físico, o lo que es lo mismo, un prototipo funcional.

3.3.3. Testeo y refinamiento

Esta fase tiene un doble propósito. Por una parte, la verificación de la calidad y robustez del diseño. Es en estas tareas, relacionadas con la gestión de la calidad, donde se recomienda llevar a cabo las 5 fases del proceso de mejora de 'Lean Six Sigma'¹⁸ (LSS), DMAIC: 'Define', 'Measure', 'Analyze', 'Improve', 'Control'.

Por otra parte, se evaluará el diseño desde el punto de vista productivo. De esta evaluación se espera, o bien, alguna propuesta de acondicionamiento del diseño para mejorar su fabricación, o la verificación final del diseño, indicando su correcta resolución, cara a su producción en cantidades industriales.

En definitiva, esta fase va orientada garantizar, en última instancia, la calidad del diseño tanto desde el punto de vista del consumidor, como desde el punto de vista productivo, que, de nuevo, si desde la primera fase de desarrollo se aplican las técnicas propias de DFMA, y se realizan las simulaciones y análisis pertinentes, se debería asegurar un fase de testeo y refinamiento sin numerosas incidencias, limitada a la correcta formalización de las pruebas, la documentación asociada al resultado de estas y la verificación de estándares de calidad.

3.3.4. Justificación y síntesis de la propuesta

El método Scrum, propuesto para dictaminar tanto la organización, como el ritmo de trabajo en esta etapa, ha sido justificado de manera fundamentada en el punto 2.3, cubriendo, con la implementación de este método, la necesidad de la presencia de una figura capaz de dirigir y gestionar el desarrollo del proyecto en toda su amplitud. De hecho, como se ha explicado existen dos roles que cubren esta necesidad.

Por una parte, el 'Product Owner', que se correspondería con un 'Project Manager', orientado al cumplimiento de objetivos y preocupado por el avance del proyecto y la creación continua de valor. Este rol debería ser cubierto por un perfil senior con mucha experiencia en el sector, capaz

¹⁸ 'Six Sigma' fue inicialmente desarrollada en Motorola, por el ingeniero Bill Smith, a mediados de los ochenta, enfocada al control de la calidad. A finales de los 90, comenzó a integrarse con los principios del Lean, dando lugar a una metodología derivada, hoy conocida como 'Lean Six Sigma' (Snee, 2010).

de sintetizar el proyecto claramente en la lista de trabajos pendientes ('Product Backlog') que se le exige.

Por otra parte, el 'Scrum Master', orientado también a la consecución de objetivos, pero los de su equipo de desarrolladores, además de ser una figura de ayuda para el equipo de desarrolladores. El 'Scrum Master' se corresponde con un perfil no necesariamente senior, y experto en la metodología Scrum ya que es el responsable de su correcta ejecución, pero sí que se le exige unos conocimientos técnicos ya que debe ser capaz de entender a un alto nivel las tareas de desarrollo, para poder ayudar a su equipo cuando estos le manifiesten un impedimento que bloquea el avance del 'Sprint', y así proceder de manera resolutiva eliminando dicho impedimento.

Es muy importante el hecho de que en la metodología Scrum se concibe a los equipos como unidades autónomas y responsables, se recalca su empoderamiento, de hecho el 'Scrum Master' es visto como un líder facilitador, limitándose a un carácter más bien reactivo, ayudando a los desarrolladores cuando sea preciso, no hay una jerarquía de superioridad entre esta figura y el equipo de desarrolladores, los desarrolladores son igual de responsables que el 'Scrum Master' sobre el cumplimiento de sus objetivos. Este aspecto se corresponde con un concepto propio de la filosofía Lean llamado 'Jishuken', que se traduce como grupos de estudio autónomo, y se refiere a la creación de grupos multidisciplinares y autogestionados (Ram Kumar et al., 2020), lo cual, se encuentra perfectamente en sintonía con el método Scrum.

A lo largo de las diferentes fases de la etapa de diseño de detalle, se promueven técnicas de diseño orientadas a favorecer tanto el ensamblaje, como la fabricación, esto es DFMA, SMED o Poka-Yoke incluso, que también incluye la reducción de complejidad en la experiencia del usuario. En su conjunto, propuestas que persiguen atajar la creación de desperdicios desde las primeras fases de diseño.

La inclusión del concepto 'Sprint' en este marco de trabajo Lean resulta de gran relevancia, ya que los 'Sprints', referidos como el marcapasos del Scrum, son perfectamente comparables a un periodo 'Takt-Time' (Oppenheim, 2004), como se razona en el punto **Error! Reference source not found.**, al final del cual se garantiza la creación de valor, o al menos una fracción de valor. Es esta garantía de la creación de valor, lo que convierte el método propuesto en ideal para su aplicación dentro de un marco de trabajo Lean, sobre todo en la etapa de diseño de detalle, donde existe una mayor incertidumbre sobre la creación de valor a lo largo del proceso (Baines et al., 2006).

En la siguiente imagen se ilustra de manera sintetizada, el proceso de desarrollo de esta etapa de diseño de detalle y sus respectivas fases. En la imagen se simboliza el procedimiento Scrum con el icono de las tres flechas formando un círculo, en uno de los recuadros se exponen detalles, en el resto se simplifica todo esto únicamente a las 3 flechas. Como se ha sugerido al principio del punto 3.3, se promueve la modificación de algunos puntos del procedimiento Scrum, al final de cada proyecto, con la intención de adaptar mejor la metodología a cada caso, lo cual sustituiría a la retrospectiva del sprint. Esto promueve una intención de mejora continua del método, referenciado en la imagen como 'Kaizen'¹⁹.

¹⁹ Término japonés para referirse a la mejora continua.

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

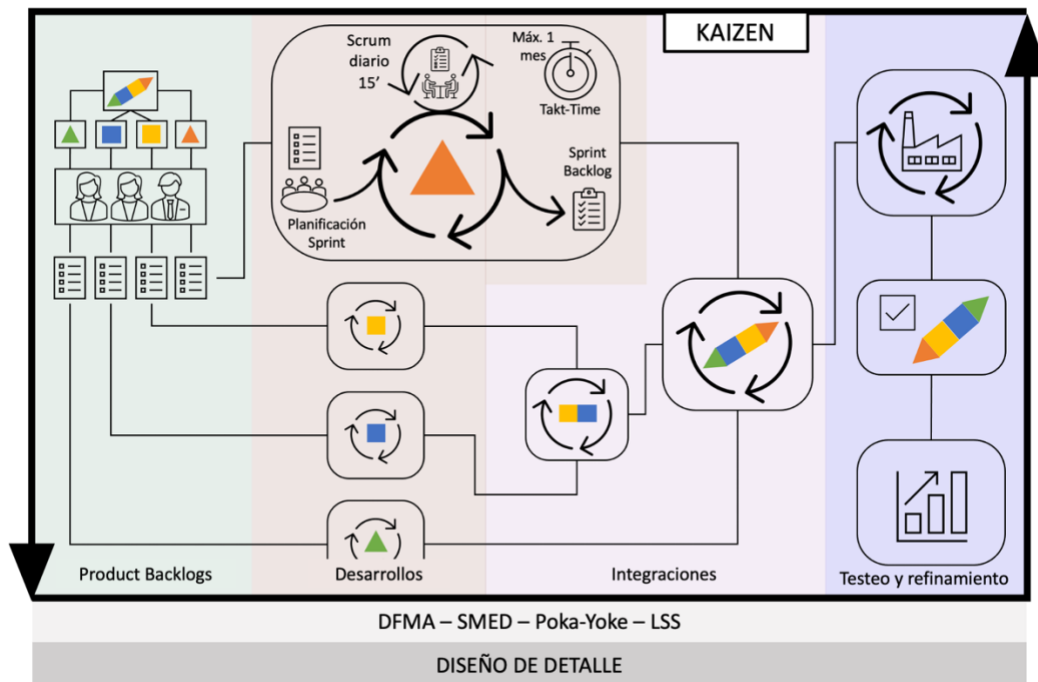


Ilustración 18. Etapa de diseño de detalle del marco de trabajo Lean para el desarrollo de productos. Fuente: Elaboración propia.

3.4. Integración del marco de trabajo completo.

En su conjunto, se ha definido un marco de trabajo, donde se han empleado todas aquellas herramientas Lean que son extrapolables, o de aplicación al campo del diseño, y se han incluido herramientas o métodos ajenos a la filosofía Lean, cuyos objetivos se consideran alineados con los mismos que los de los principios Lean.

Se transmite un claro énfasis en el enfoque 'pull', ya que toda iniciativa de desarrollo nace de la voz del cliente, capturada desde el primer instante del proceso, y es transmitida a lo largo del resto de etapas. Esta transmisión se realiza haciendo un claro hincapié en la alineación de las decisiones, en las etapas de diseño, con los procesos productivos. Esta alineación de los sistemas de trabajo alrededor de la producción, es uno de los principios clave del Lean tal y como se recoge en la literatura (Holweg, 2007).

Se ha empleado el enfoque de la ingeniería concurrente basada en subsistemas, subrayado por Baines et al. (2006), como el enfoque más apropiado para encarar los procesos de desarrollo de productos

Se ha realizado una hibridación del Lean con la escuela Ágil, incorporando en la etapa de diseño de detalle el método de trabajo Scrum. A su vez, esta etapa guiada por Scrum, se considera envuelta en una mejora continua que busca alcanzar la máxima eficiencia del proceso en su capacidad para generar valor.

La imagen siguiente, muestra el marco de trabajo Lean propuesto en su conjunto.

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

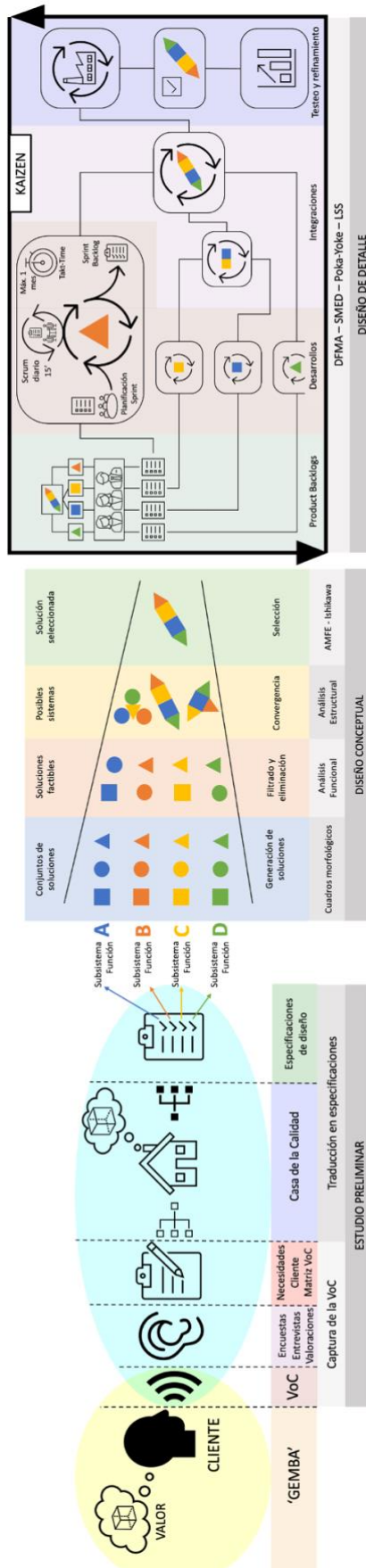


Ilustración 19. Marco de trabajo Lean para el desarrollo de productos. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4. CASO PRÁCTICO DE APLICACIÓN DEL MARCO DE TRABAJO

A lo largo de este capítulo se va a desarrollar un proceso de rediseño de un producto, siguiendo el marco definido. Este proceso quedará aquí documentando a modo de ejemplo ilustrativo de la aplicación del marco. Se espera también, a través de esta segunda perspectiva, de carácter práctico, descubrir posibles oportunidades de mejora, que, de ser descubiertas, se recogerán en observaciones.

Dado que este ejercicio es llevado a cabo por una única persona, es decir, no existe un equipo de desarrollo y no hay interacciones, se recuerda que el alcance de la aplicación de este marco se ve limitado en cuanto a recursos y acotado en su extensión, ya que en la etapa de diseño de detalle solo se desarrollará el modelado 3D de los componentes y su ensamblaje en la aplicación CAD.

Respecto a la estructuración de este capítulo, los siguientes epígrafes se corresponden uno a cada etapa del marco de trabajo (estudio preliminar, diseño conceptual y diseño de detalle), anticipados por un primer epígrafe donde se introduce el producto seleccionado.

4.1. Artículo seleccionado.

El artículo seleccionado, ha sido un recogedor de excrementos de perros. Este producto se presenta como un auxiliar para los dueños, durante el paseo de sus mascotas, para evitar la cercana interacción con el excremento.

Entre los motivos por los que se ha escogido este producto los últimos años, se encuentra el hecho de que, en los últimos años, la legislatura española se ha vuelto más estricta con el control y recogida de los excrementos de perro por parte de sus dueños. La ley 7/2023, de 28 de marzo, de 'protección de los derechos y el bienestar de los animales', con la referencia BOE-A-2023-7936, es una prueba de ello. Específicamente es en el capítulo II, artículo 26 donde se deja patente la obligación, por parte del dueño, de retirar o limpiar tanto los excrementos como los orines de la vía pública. Esto es algo positivo, que fomenta la convivencia, la higiene y la responsabilización sobre las mascotas. Por su parte, los dueños, necesitan ir bien equipados cuando salen a pasear sus respectivos perros, y es aquí donde reside la importancia del producto seleccionado.



Ilustración 20. Fotos de la vista general del producto seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

El producto se compone en su totalidad por piezas plásticas, a excepción de los dos muelles. El fabricante ha producido sus piezas plásticas mediante moldeo por inyección (se observan claramente las líneas de desmoldeo y las marcas de expulsión), mientras que los muelles son piezas estandarizadas (compradas a terceros). En una de las piezas de plástico se observa que se ha aplicado un recubrimiento de goma, para mejorar el tacto en la zona de manipulación.



Ilustración 21. Foto de detalle del recubrimiento de goma. Fuente: Elaboración propia.

Tras desmontarlo, se concluye que el producto está formado por un total de ocho piezas, las seis de plástico y los dos muelles. El proceso de desensamble resulta laborioso, ya que las piezas de plástico se unen entre ellas por encaje



Ilustración 22. Foto de los componentes del producto seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

El proceso de desensamble resulta laborioso, ya que las piezas de plástico se unen entre ellas por encaje, a excepción de una unión permanente, con adhesivo químico.



Ilustración 23. Fotos de detalle de la unión con adhesivos. Fuente: Elaboración propia.

Aunque el número de piezas total es razonablemente bajo, el tiempo de ensamblaje (que se entiende necesariamente manual, debido a las geometrías y la complejidad del sistema de encajes) resulta elevado. El proceso de ensamblaje se estima superior a 5 minutos, sin contar el tiempo de aplicación del adhesivo, ni el de espera para su secado.

4.2. Estudio preliminar

Como se ha definido, el estudio preliminar se inicia con la captura de la voz del cliente, en este caso mediante entrevistas sobre la experiencia de usuario. La manera de proceder ha sido, una recreación ficticia del 'Gemba'. Se les ha proporcionado a los usuarios el producto, se les ha explicado su función y se les ha indicado que procedan a utilizarlo, animándolos a manifestar cualquier impresión y opinar libremente sobre los aspectos positivos y negativos que aprecian como usuarios del producto. Del mismo modo, que se les ha animado a compartir aquello que les gustaría que incorporase el producto y que haría que su opinión sobre el producto fuera mejor. No existe un guion fijo sobre las preguntas realizadas durante las entrevistas, se han llevado a cabo de manera distendida, estableciendo una conversación con los usuarios, se

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

realizan preguntas abiertas, orientadas a estimular la comunicación por parte del entrevistado y la escucha por parte del entrevistador.

Se han realizado entrevistas a siete personas diferentes y la información se ha recogido en la siguiente tabla, presentada en el punto 3.1 como la 'Matriz VoC'. Se ha añadido una columna para anotar el número de personas que comentaban aspectos similares. Las celdas coloreadas pretenden identificar aspectos que están relacionados a nivel constructivo.

¿Qué dice el cliente?	¿Qué es lo que quiere el cliente?	¿Con qué requerimiento se satisface?	Nº Personas que refieren esto o parecido
"Va un poco duro al apretar"	Un accionamiento menos duro	Accionamiento diferente o menos duro	2
"Al apretar me molestan los dedos"	Una geometría que no cause molestia en los dedos	Accionador con forma cómoda, ergonomía	5
"Aun con esto -muestra el producto- me tengo que agachar"	No tener que agacharse	Mayor longitud	7
"Me cuesta liberar el excremento en un contenedor elevado, porque si no elevo mucho el brazo no cae"	Poder liberar el excremento con mayor facilidad	Mejor liberación	2
"Hace mucho ruido al cerrarse"	Un mecanismo más silencioso	Menor tensión o material de goma donde cierra	1
"Me gusta, pero me faltan manos en los paseos, entre la correa y la botella de agua que ahora es obligatoria para cuando mea el perro..."	Menos aparatoso o ayudar a la carga de otros bultos	Incluir un enganche para colgar accesorios en el recogedor	5
"Desde que recojo el excremento hasta que lo tiro me molesta el olor porque está abierto"	Un cierre completo de la cavidad de recogida	Compartimento cerrado en la parte de recogida	2
"Me gusta, porque tuve uno en el que tenía que hacer la fuerza para cerrarlo, y aquí es al revés, así no te cansas de apretar"	Que se abra al apretar y se cierre al soltar	(Mantener este aspecto) Cerrar al soltar	2
"No me gusta porque se mancha y luego es un engorro limpiarlo, si se le pudiera poner bolsas..."	Que no se manche	Apto para poner bolsas	2
"Me cuesta poner y retirar las bolsas"	Facilidad para poner bolsas	Apto para poner bolsas	2

Tabla 2. Matriz VoC del caso práctico. Fuente: Elaboración propia.

A la vista de la tabla se pueden sacar conclusiones, como por ejemplo, la longitud, que ha sido un aspecto negativo, referido por 6 personas, debería ser la suficiente para que el cliente no se tenga que agachar.

Se ha descubierto una necesidad en los clientes, que es la presencia de algún elemento en el producto donde puedan amarrar o colgar accesorios, ya que, de lo contrario, los que refieren llevar las manos ya ocupadas podrían preferir no utilizar el producto.

Se han recogido varios comentarios que se refieren al mecanismo de accionamiento, de los cuales dos subrayan aspectos negativos y uno positivo. Los negativos, uno se refiere a la excesiva resistencia que ofrece el accionador al apretar, y otro a la incomodidad del agarre. Al observar el agarre en detalle, se ve que el diseño contempla la posición de tres dedos en el asa accionadora, y ciertamente la colocación de tres dedos no resulta cómoda, de manera espontánea, se quieren colocar los cuatro dedos, y al colocar los cuatro dedos el espacio es limitado, además de que, la geometría resulta molesta, se clava. Por otra parte, es importante mantener la función de abrir al apretar y no a la inversa. Durante el proceso de desensamble, al retirar los muelles, se ha observado que éstos no son el único elemento que ofrece resistencia al apretar, por cómo está diseñado el mecanismo, la pieza de plástico negra que transmite el movimiento, ofrece también resistencia, especialmente al final del recorrido



Ilustración 24. Fotos de detalle del accionamiento. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los comentarios que se refieren al mecanismo de recogida, se tiene, por una parte, el hecho de que resulta complicado que caiga lo recogido en un contenedor elevado. Tras realizar una prueba, se observa que debido a la geometría de las piezas que recogen, lo que hay en el interior de estas palas no cae a no ser que el producto se coloque en una posición vertical o cercana a la vertical, con lo cual, al querer tirar lo recogido en un contenedor alto, se ha de elevar el brazo para poner en posición vertical. El otro aspecto que se refiere al mecanismo de recogida, el del olor, se entiende directamente, ya que las palas están abiertas por la parte superior.

Por último, se han manifestado diferentes modos de uso por parte de los usuarios, ya que se han recogido comentarios de usuarios que no emplean bolsa, y señalan como punto negativo que las palas se manchen y que les gustaría que se pudiera colocar alguna bolsa. Mientras que existen otros usuarios que sí que han empleado bolsas y que el punto negativo según ellos es la dificultad de colocar la bolsa en las palas. Esta manifestación se traduce en una experiencia de usuario confusa, ya que hay diferentes interpretaciones sobre el uso del producto. A su vez esta manifestación puede afectar a otros aspectos, ya que, por ejemplo, los que manifiestan

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

incomodidad debido al olor no han empleado bolsa, y el empleo de una bolsa habría evitado esto, pese a la geometría abierta de las palas.

A continuación, se recoge la síntesis de información extraída de esta fase, que servirá para posteriormente poblar las tablas de la casa de la calidad:

- Mayor longitud.
- Accionador menos duro.
- Accionador más cómodo.
- Mejor liberación.
- Compartimento de recogida cerrado.
- Cerrar al soltar / Abrir al apretar.
- Apto para poner bolsas.
- Menos ruido.

Con esta información se pueden inferir los siguientes parámetros de diseño:

- Longitud [cm].
- Resistencia accionador [N].
- Geometría del accionador.
- Mecanismo de accionamiento.
- Geometría de los elementos de recogida.
- Mecanismo de recogida.

Es cierto que los únicos parámetros mesurables son la longitud y la resistencia del accionador. Esto se debe a que la mayoría de las opiniones están relacionadas con aspectos del diseño adimensionales, más relacionados con la forma. En este punto, ya se puede rellenar la tabla de la 'Casa de la Calidad'.

CASA DE LA CALIDAD										
		Parámetros Técnicos								
		Longitud	Resistencia accionador	Geometría accionador	Mecanismo de accionamiento	Geometría elementos recogida	Mecanismo recogida	Ratio de mejora	Importancia Compuesta	IC normalizada
Demandas de Usuario		Longitud	Resistencia accionador	Geometría accionador	Mecanismo de accionamiento	Geometría elementos recogida	Mecanismo recogida	Ratio de mejora	Importancia Compuesta	IC normalizada
Mayor longitud	7	1,00						1,00	7	25,0%
Accionador menos duro	2		1,00					1,00	2	7,1%
Accionador más cómodo	5			1,00				1,00	5	17,9%
Mejor liberación	2				1,00			1,00	2	7,1%
Compartimento recogida cerrado	2					1,00		1,00	2	7,1%
Cerrar al soltar / Abrir al apretar	2						1,00	0,00	0	0,0%
Apto para poner bolsas	4							1,00	4	14,3%
Menos ruido	1							1,00	1	3,6%
Enganche para accesorios	5							1,00	5	17,9%
Unidades		cm	N							100,0%
Importancia ponderada		3	2,214	3,857	2,571	3,357	3,071			
IP normalizada		16,6%	12,3%	21,3%	14,2%	18,6%	17,0%			100%
Priorizadas		4	6	1	5	2	3			

Ilustración 25. Casa de la Calidad caso práctico. Fuente: Elaboración propia. (Basado en material de la asignatura de DOU, MUII, UPV).

Como se había anticipado, la 'Casa de la Calidad' se completa obviando la evaluación competitiva, ya que las ratios de mejora estimados en esta parte (estas ratios son el resultado del cociente entre el valor objetivo y el valor actual del diseño para una determinada función) pueden adulterar la importancia que los usuarios han dado a cada función, y el enfoque Lean debe dar prioridad a la voz del cliente. Por ese motivo, se han asignado valores iguales a la unidad para que ponderen por igual dichas ratios, y el factor determinante sea la importancia asignada por los usuarios a cada función. Nótese que la ratio con un valor nulo es la función de "Cerrar al soltar / Abrir al apretar", función que ya se encuentra resuelta y se quiere conservar, por ese mismo motivo, no es necesario que pondere ya que altera las prioridades de diseño.

Cabe aclarar que, en la demanda de un enganche para accesorios, se ha establecido una fuerte relación con la geometría del accionador, entendiéndose que este enganche se debe encontrar cerca de la zona de manipulación para mayor comodidad, con lo cual la geometría de la zona de accionamiento debe tener en cuenta la disposición de un enganche.

Al cumplimentar la tabla de relaciones, se observa que tanto la geometría de los elementos de recogida, como el mecanismo de recogida se ven relacionados con varias de las opiniones, motivo por el cual, resultan entre las prioridades principales del rediseño. El aspecto de la longitud, comentado por todos los usuarios, queda como cuarta prioridad, mientras que la geometría del accionamiento (zona de manipulación) queda como primera prioridad.

Volviendo a los parámetros mesurables, se ha de establecer un valor, para ello, ya que son unidades relacionadas con la ergonomía y la antropometría, se ha de buscar los valores correctos en estudios estadísticos relacionados con la materia.

Comenzando con la longitud óptima del producto, interesa saber cuál sería la distancia media, en una persona, que va de la mano al suelo. En el artículo 'Datos antropométricos de la población laboral española' de Carmona (2001), se encuentra la medida que nos interesa con el número 41, altura del tercer metacarpiano, descrita como: distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) hasta la cabeza del tercer metacarpiano.

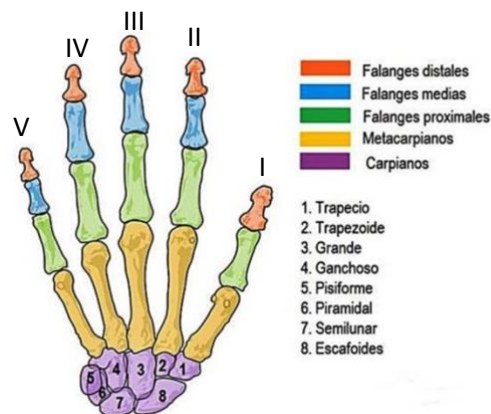


Ilustración 26. Anatomía ósea de la mano. Fuente: Flavia, 2018.

Carmona Benjumea (2001), presenta los resultados agrupados de 3 maneras, para la población conjunta, solo hombres y solo mujeres. Como el estudio estadístico, indica que la muestra tomada es la población laboral, y la distribución de la muestra por sexo y edad y su proporción respecto a la muestra total es de 34,42% mujeres y 65,58% hombre. Así pues, se va a tomar como referencia el valor de la media del grupo femenino, por varios motivos:

- Como ya se ha explicado, en la muestra había un mayor número de hombres, lo cual hace que la media del valor de esta distancia para la “población conjunta”, sea demasiado elevado.
- Se quiere establecer un valor correcto para la distancia total del producto, el valor correcto debe evitar que el mayor número de personas posibles se tenga que agachar. Sin embargo, un valor excesivo haría que el producto, además de resultar aparatoso, alcance a tocar el suelo tan solo sosteniéndolo en posición normal (brazos extendidos hacia abajo), lo cual sería incómodo. Este motivo justifica la selección de un valor cercano a la media de la medida anatómica estudiada, pero inferior a ella. Garantizando así que para el uso del producto no será necesario agacharse, sino como mucho, una leve inclinación del tronco.

La media de la distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) hasta la cabeza del tercer metacarpiano en las mujeres se encuentra en los 706,94 mm, con una desviación típica de 36,61mm. Simplificando a 70 cm, se siguiendo el razonamiento de escoger un valor inferior a la media, pero cercano a ella, de esta manera se escogen 55cm, suponiendo que se vencen los 15cm restantes hasta el suelo con una leve inclinación del tronco, sin necesidad de agacharse, para una persona en el valor de 70 cm.

Continuando con el valor para la resistencia que debería ofrecer el mecanismo de accionamiento se ha consultado el artículo ‘Grip and Pinch Strength: Normative data for adults’ de Mathiowetz et al. (1985). En este artículo se diferencia entre la muestra masculina y la femenina. Debido al mismo motivo anterior, se va a escoger un valor atendiendo a los resultados de la prueba de fuerza de agarre de las mujeres, ya que resultan ser inferiores, garantizando así la comodidad de uso en la mayoría de los casos. Se observa que el resultado más bajo de la prueba se da en mujeres a partir de los 75 años, donde se registra un valor de 42,6 libras para la mano derecha y 37,6 para la mano izquierda. De aquí se toma 40 libras como referencia, que resultan unos 18 kilogramos, que a su vez son unos 176 N. Sabiendo esto se puede establecer la resistencia máxima adecuada que debe ofrecer el accionador. Se entiende que accionar la manilla no debería requerir el máximo esfuerzo que una persona puede desarrollar, es decir, se debe establecer una fracción razonable de este valor. Como se explica en el libro ‘Ergonomics: Foundational Principles, Applications, and Technologies’ (McCauley-Bush, 2011, pág. 267) el esfuerzo muscular que supere el 15%, de la máxima contracción voluntaria que puede realizar una persona, produce fatiga muscular. Por tanto, la resistencia que ofrezca el accionador debe ser equivalente a un 15% de los 176 N, o inferior. El 15% de 176 N resultan 26,4 N, que se redondean a 25 N para simplificar y asegurar, además, la inferioridad al 15%.

En esta etapa se ha capturado la voz del cliente de manera efectiva. Se ha conocido lo que al cliente le gusta y lo que no del producto. Gracias a la ‘Casa de la Calidad’ se han estudiado las relaciones entre funciones deseadas y los parámetros de diseño, a la vez que se han establecido prioridades.

Se ha manifestado una necesidad de incorporar un enganche para accesorios.

Se ha descubierto que el diseño actual conduce en algunos casos a cierta confusión sobre el uso correcto del producto.

Se han determinado valores de manera fundamentada para los parámetros de diseño mesurables:

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

- Longitud total del producto: 55 cm.
- Resistencia de accionamiento (fuerza necesaria): 25N.

Con esta información se puede pasar ya a la etapa de diseño conceptual para la determinación de subsistemas y exploración de soluciones.

4.3. Diseño conceptual

En este punto se ha de descomponer el producto en diferentes subsistemas. Para ayudar a razonar una correcta definición de los subsistemas, se observan de nuevo tanto las demandas de los usuarios, como los parámetros definidos y las relaciones entre estos.

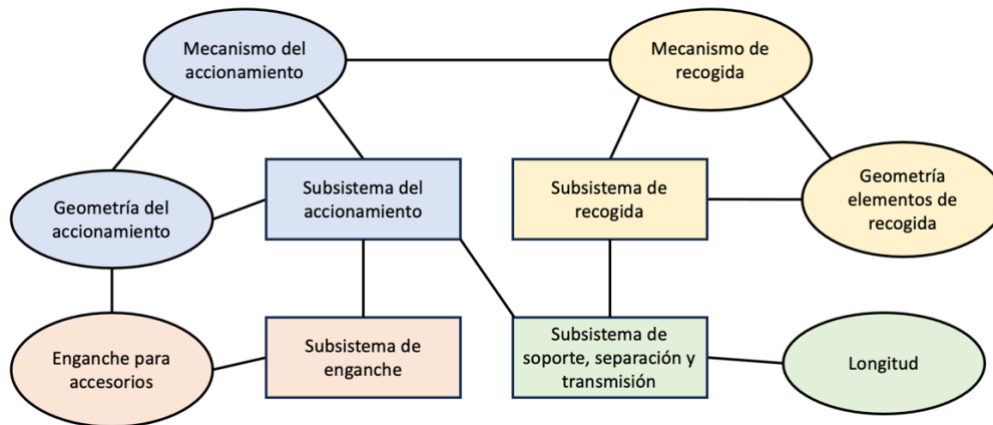


Ilustración 27. Análisis de subsistemas y relaciones. Fuente: Elaboración propia.

Tras el análisis los subsistemas identificados son los siguientes:

- Subsistema de recogida.
- Subsistema de accionamiento.
- Subsistema de enganche.
- Subsistema de soporte, separación y transmisión.

Se procede a la elaboración de la matriz morfológica.

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.




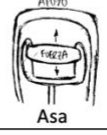









Soluciones		1	2	3	4
Subsistema					
1	Recogida	 Varias garras	 Recogedor mas empuje	 Pinzas con cavidad	
2	Accionamiento	 Asa	 Gatillo		
3	Soporte, separación y transmisión	 Palo macizo y cable externo	 Perfil hueco y cable interno o externo	 Extensible acordeón	 Dos piezas, una desliza respecto la otra
4	Enganche accesorios	 Aro	 Gancho	 Gancho semicerrado	 Cordel

Ilustración 28. Matriz morfológica del caso práctico. Fuente: Elaboración propia.

En esta tabla tenemos todas las posibles soluciones concebidas. Hasta aquí, se proponen soluciones posibles, sin atender a la dificultad de desarrollo, manufactura, ni ensamble. Pero de aquí en adelante, es necesario aplicar ya el pensamiento crítico, y regirse por la mitigación del impacto de los siguientes aspectos:

- Dificultad de desarrollo.
- Dificultad de producción.
- Dificultad para su integración con el resto de los subsistemas.
- Interacciones negativas con otros subsistemas.
- Robustez del diseño (fiabilidad y durabilidad).
- Nivel de desempeño en el cumplimiento del requerimiento.

Para ayudar en esta eliminación de alternativas se realiza, como se ha recomendado, el análisis funcional, pues dicho ejercicio de abstracción ayuda a discernir sobre lo que “está justificado y lo que no”.

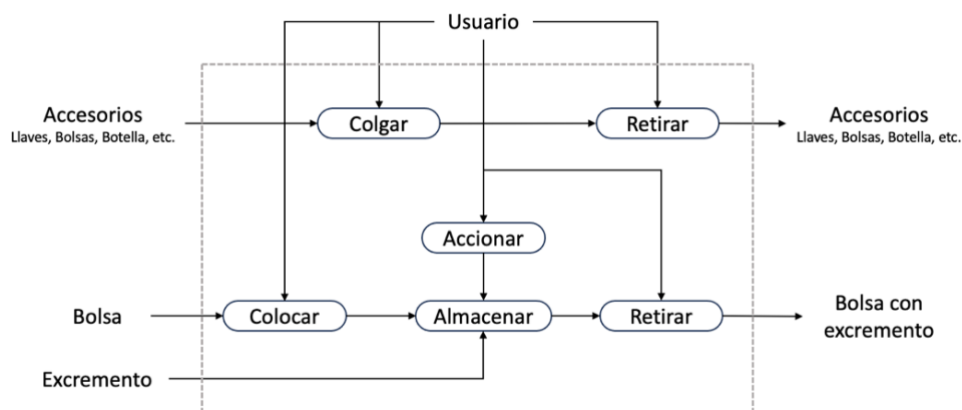


Ilustración 29. Diagrama análisis funcional del caso práctico. Fuente: Elaboración propia.

A la vista del análisis funcional se puede descartar el soporte extensible, resulta una solución compleja de desarrollar y extralimitada, dadas las funciones que se requieren.

Se puede descartar también el aro y el cordel, para el enganche de accesorios, porque no facilitan las acciones de colgar y retirar. Ambas soluciones, no garantizan el correcto desempeño de su función en la mayoría de los casos, ya que el usuario solo podría colgar objetos en caso de que los objetos dispusieran ya de algún elemento semicerrado (por ejemplo, un mosquetón) que permitiera engancharlo a estas soluciones cerradas. Además, la solución del cordel supondría un componente extra, con un tiempo de ensamble adicional y considerablemente elevado en relación con el incremento funcional.

La solución de varias garras en el subsistema de recogida también supone, una mayor complejidad de desarrollo, un número mayor de componentes, y por ende, mayor tiempo de ensamblaje. Aunque esta solución facilitaría la colocación y el centrado de las bolsas, se convertiría en una opción ineficaz para aquellos usuarios que optan por un uso sin bolsas. Por todos estos motivos, esta opción queda descartada.

Un elemento macizo como cuerpo separador, puede ser una solución robusta, aunque puede llegar a incrementar notablemente tanto el coste como el peso del producto, por ello, queda descartada esta opción.

Habiendo realizado el proceso de descarte, se procede a definir las posibles combinaciones de subsistemas que resultan más factibles. Para favorecer esto, se realiza el análisis estructural del producto.

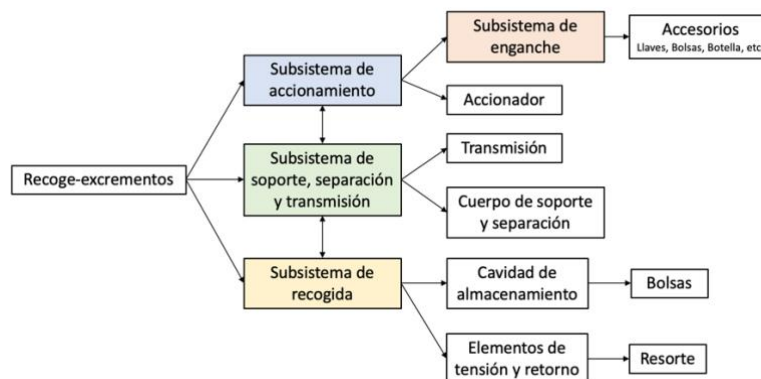


Ilustración 30. Análisis estructural en árbol del caso práctico. Fuente: Elaboración propia.

Tras el análisis estructural se observa, por lo general, una buena combinación de las diferentes soluciones.

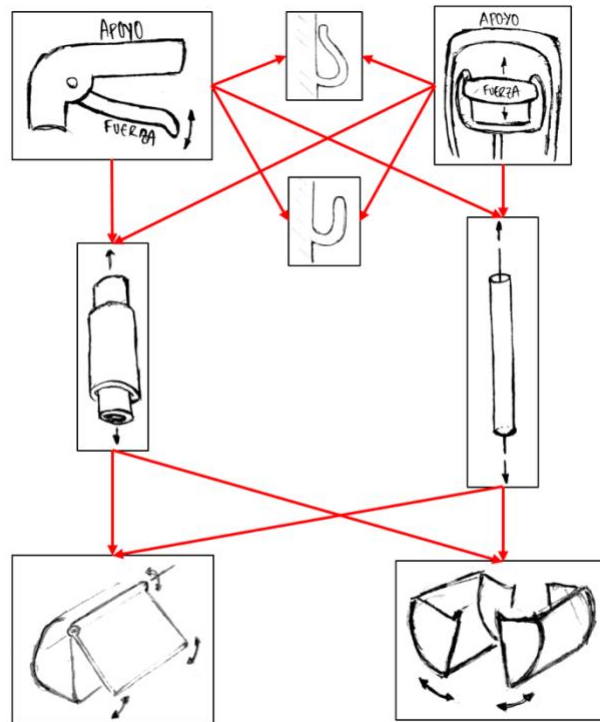


Ilustración 31. Posibles combinaciones de subsistemas. Fuente: Elaboración propia.

Aunque es cierto, que teniendo en cuenta la resolución de aspectos técnicos, el accionador por gatillo se adaptará mejor en aquellas configuraciones en las que la transmisión esté desplazada del centro, del mismo modo que el accionador de asa se integraría de manera más fácil en el caso de que la transmisión ocupe el eje central. A su vez, sucede algo parecido con los sistemas de recogida, ya que el recogedor con empuje sería más fácil de integrar con una transmisión que no discorra por el centro, mientras que el sistema de pinzas sería más afín con una transmisión centrada.

Para ayudar en el proceso de selección final de alternativas, y poder dar paso al diseño de detalle, se realiza un análisis modal de fallos y efectos.

Modo de fallo	Efecto del fallo	Causa del fallo	Observación o medida preventiva
Rotura del cable	No funciona al accionar, inutilización del producto	Se supera la tensión de rotura del cable, durante el uso	Escoger cable más resistente o mayor sección
Pérdida de tensión del cable	No funciona al accionar, inutilización del producto	Elongación permanente del cable, se supera el límite elástico	Escoger cable con límite elástico superior
Se suelta el cable	No funciona al accionar, inutilización del producto	Cable mal atado, nudo ineficiente	Establecer un método de atado robusto, durante el ensamblaje

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

Rotura del gancho para accesorios	No se pueden colgar accesorios	Mal uso por parte del usuario o carga excesiva	Sobredimensionar la sección del gancho para aumentar resistencia
El usuario se pilla los dedos intentando poner la bolsa	Usuario descontento	Dificultad para mantener la zona de recogida abierta a la vez que se coloca una bolsa	Incluir bloqueo del accionador

Tabla 3. AMFE del caso práctico. Fuente: Elaboración propia.

Tras el ejercicio de intentar anticipar posibles modos de fallos se obtienen diferentes conclusiones:

- El uso de un cable como modo de transmisión del movimiento, resulta una solución poco robusta. Las medidas para remediar esto, repercuten directamente en los costes de producción y ensamblaje.
- El sistema de enganche se ve inevitablemente expuesto a riesgo de rotura, se tendrá en cuenta durante el diseño de detalle.
- Aunque el ejercicio se dirige al análisis de las debilidades del sistema, se ha identificado también un riesgo relacionado con la experiencia del usuario. Esto ha servido para incluir un componente que facilitará el bloqueo del accionador.

Como veredicto final, se va a optar por emplear un sistema de transmisión basado en el desplazamiento de dos piezas (una respecto de la otra). Aunque este subsistema podría integrarse con el resto soluciones, como se muestra en la Ilustración 31, se intuye una mejor integración con el sistema de accionamiento de gatillo y el sistema de recogida por empuje, como se ha razonado anteriormente.

4.4. Diseño de detalle

En esta fase que conlleva mayor tiempo de desarrollo, es donde se propone el empleo de la metodología Scrum, para que, además de ayudar a la estructuración y gestión de objetivos del proyecto de desarrollo, pueda también servir para certificar la creación de valor a lo largo del proceso.

En este caso, como ya se ha anticipado, no existe un equipo de desarrollo, ni las figuras propias de un equipo Scrum. Aun así, se realiza el ejercicio de abstracción a este caso, para explicar cómo se debería proceder.

Partiendo de los subsistemas definidos, se debe vislumbrar cual es el objetivo común, el resultado al cual se quiere llegar. Para ello, se muestra a continuación una imagen del boceto que, en primera instancia, representa una resolución, sin detalle, de cuál es el resultado al cual se quiere llegar.

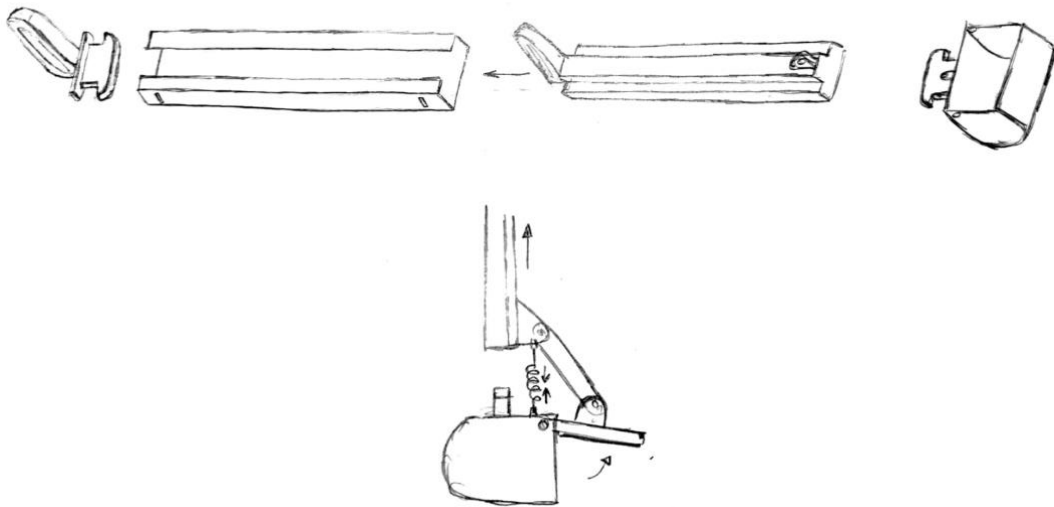


Ilustración 32. Bocetos. Fuente: Elaboración propia.

Cabe recalcar que, como se ha explicado, ya desde un inicio, la idea concebida, debe tener en cuenta, aspectos que favorezcan tanto la fabricación como el ensamblaje. En este caso se ha contemplado un ensamblaje manual (ya que el producto que se está rediseñando se considera un ensamblado de manera manual), y para ello el método de unión con menos costo asociado es el encaje ajustado de las piezas (Boothroyd et al., 2011). Por ese motivo, todas las uniones del diseño se conciben por encaje. Además de que, al margen de que la unión se consolide mediante un encaje ajustado, se ha concebido un sistema de ensamblaje simple e intuitivo, en sintonía con el concepto 'Poka-Yoke'.

En lo que a la fabricación respecta, se considera también el moldeo por inyección (igual que el producto escogido para rediseño), motivo por el cual se debe concebir geometrías que sean realizables por este método.

Como el empleo de elementos estandarizados es algo recomendado, sobre todo para producciones en grandes lotes (Holweg, 2007), se ha contemplado también, el empleo de un muelle de tracción, para el retorno del mecanismo. Además, se incluye entre los componentes, un perfil de plástico extruido, en "C", para reducir costes de producción, e impulsar el empleo de componentes estandarizados.

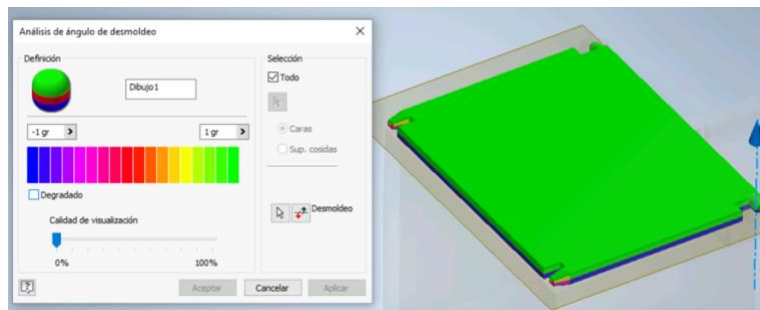
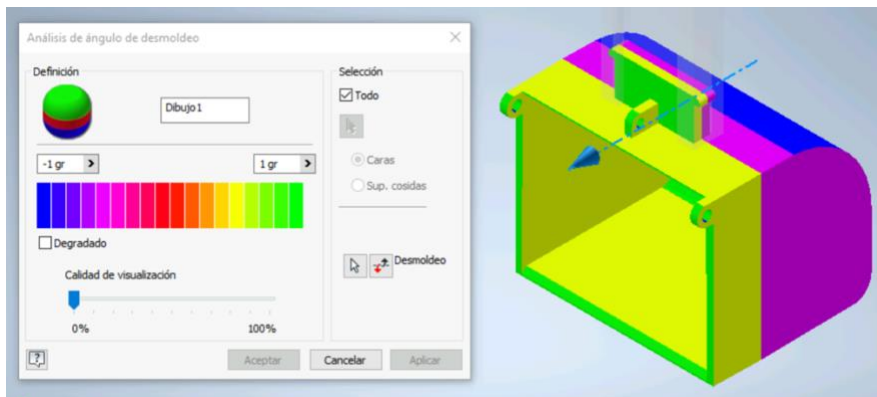
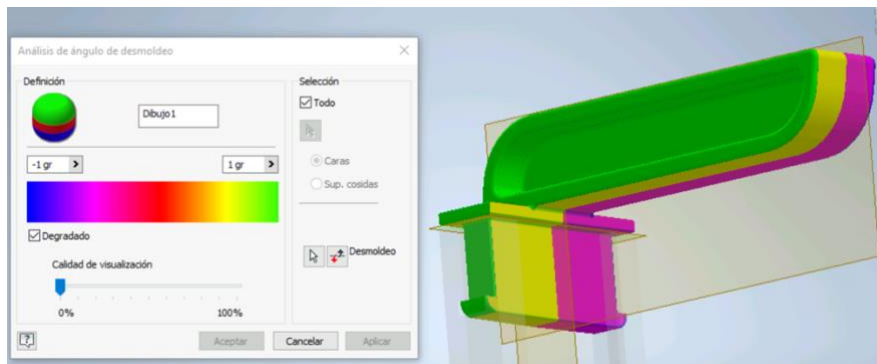
El total de componentes son 8, de los cuales uno es el resorte de tracción y otro el perfil extruido, de tal manera que las piezas de "desarrollo propio" son 6. A continuación, una lista de los componentes:

1. Perfil extruido, que hace la función de ser el cuerpo separador y de soporte.
2. El mango, que se inserta en el perfil extruido.
3. El accionador, que discurre guiado por dentro del perfil extruido.
4. El recogedor, que se inserta también en el perfil extruido.
5. La tapa móvil del recogedor, que realiza la función de empuje sobre lo que se desea recoger.
6. El enganche que transmite el movimiento del accionador a la tapa del recogedor.
7. La pieza para el bloqueo del accionador.

8. El muelle de tracción.

El trabajo que sigue se realiza en un programa CAD, y como promueve Scrum, se debe establecer una clara segmentación de las tareas a realizar. Para las piezas que sean de “desarrollo propio” las tareas que han regido el flujo de trabajo en esta fase de “desarrollo de componentes” son:

- El diseño de la forma primaria de cada componente. Esto es un primer modelado de los componentes con las dimensiones que se consideran oportunas.
- El perfeccionamiento de esta primera geometría, para posibilitar su fabricación mediante moldeo por inyección. Para ello se redondean aristas, se establece una línea de partición y se aplican ángulos de desmoldeo.
- Verificación del desmoldeo. En este caso se han empleado las funciones propias del programa CAD para el análisis del desmoldeo. A continuación, se muestran capturas del proceso.



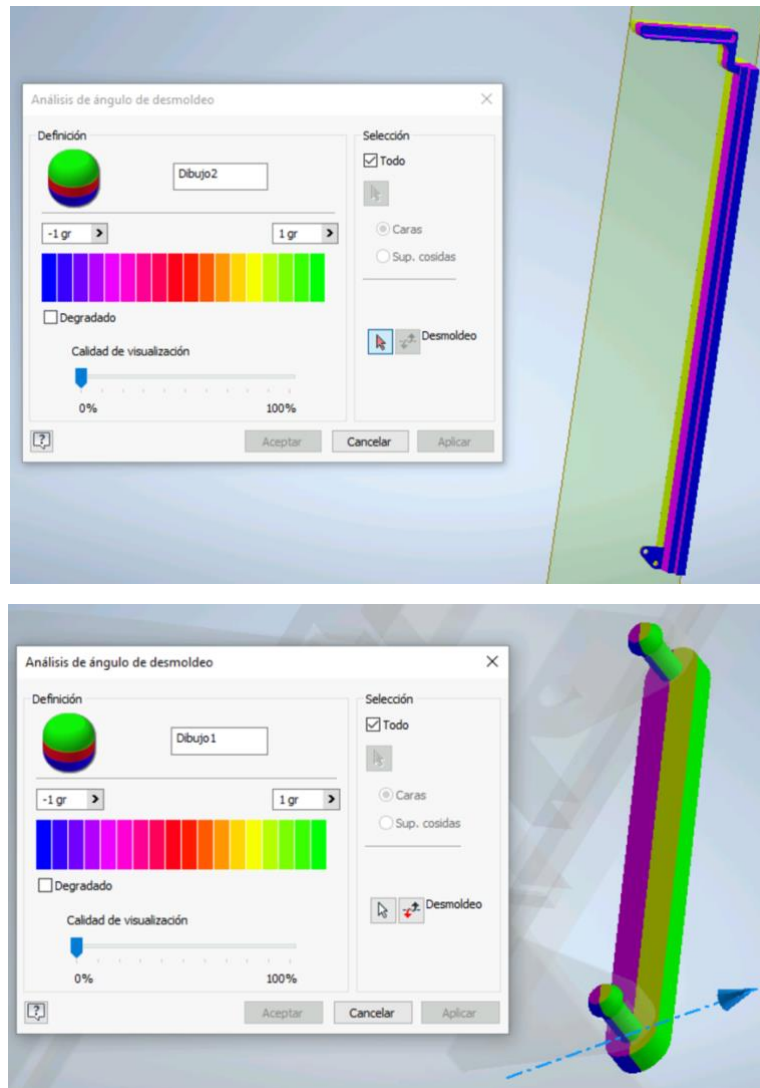


Ilustración 33. Capturas de los análisis de desmoldeo. Fuente: Elaboración propia en Autodesk Inventor.

Tras esta fase de “desarrollo de componentes” sigue la fase de “integraciones”. En esta fase, donde se resuelve el ensamble y el mecanismo, las tareas a realizar serían las siguientes:

- Asignación de valores a las dimensiones que quedaban como dependientes de la definición completa de otras piezas. Como es el caso del perfil extruido, ya que es el cuerpo sobre el que se integran otras piezas, su longitud y orificios para enganche quedaban pendientes de definición. Se ha escogido el perfil extruido que se observa en la siguiente imagen, y esta selección afecta a las dimensiones de la parte del recogedor y del mango que se enganchan en este perfil. Además, la sección del cuerpo principal del accionador también se debe adaptar para este perfil escogido.

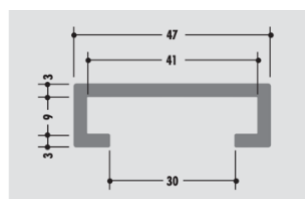


Ilustración 34. Sección de perfil en C, de plástico extruido. Fuente: (Röchling Industrial, 2018)

- Ajuste de la posición y dimensión de orificios o puntos de acople de los elementos que forman el mecanismo de apertura y cierre del recogedor. Esto afecta directamente a la tapa del recogedor, el enganche que une dicha tapa con el accionador, el propio recogedor y también el propio accionador. Las dimensiones y posiciones de sus orificios o puntos de unión se ven estrechamente relacionadas. Esta tarea, ha resultado la más laboriosa y podría a su vez dividirse en subtareas, una para cada componente, de tal manera que se realizan dichas subtareas de manera recursiva, hasta garantizar la correcta integración de los componentes y el correcto funcionamiento del mecanismo.
- Escoger un resorte que cumpla la especificación de 25 N de fuerza máxima desarrollada por parte del usuario. Esta tarea, se puede realizar una vez se conoce claramente las distancias entre los puntos de amarre del muelle, después de la verificación del mecanismo de accionamiento. En este caso ya se conoce que la distancia entre puntos de anclaje en la posición inicial es de 25 mm, y que el desplazamiento total del accionador al ser presionado es de 30 mm, con lo cual la distancia entre anclajes sería de 55mm. Como interesa que el muelle en la posición inicial guarde cierto nivel de tensión para asegurar un cierre efectivo del mecanismo, se supone que el muelle en esta posición ya está elongado unos 5 mm, de tal manera que el muelle en reposo mediría unos 20 mm. A partir de esta información se puede aplicar la ley de Hooke, que establece la relación entre la fuerza, la constante y la elongación de un muelle ($F=kx$). Para una F máxima de 25 N en la posición en la que el muelle se ha elongado 35 mm (los 5 mm iniciales más los 30 mm del desplazamiento) se calcula una $k=714,3$ N/m.

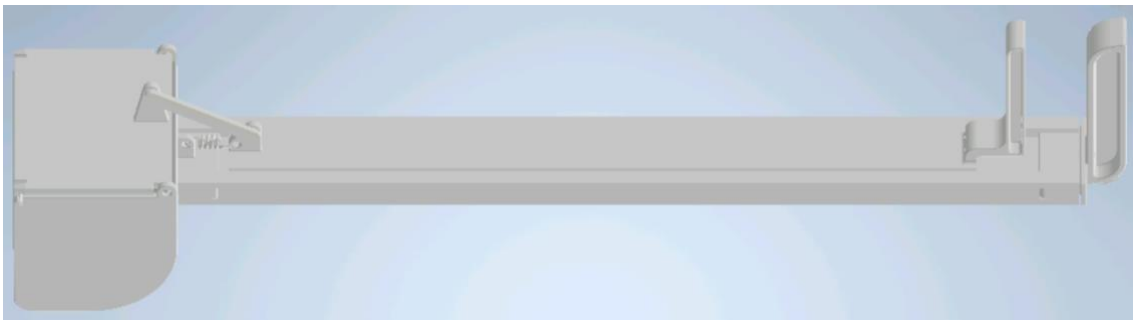


Ilustración 35. Captura ensamblaje completo. Fuente: Elaboración propia en Autodesk Inventor.

Tras la satisfactoria resolución de la fase de “integraciones” quedaría la fase de “testeo y refinamiento”, que escapa del alcance de este caso práctico. Es en esta fase donde se perfeccionarían aspectos del producto relacionados con su viabilidad económica y productiva. Un ejemplo de una de las posibles tareas identificadas en el proceso Scrum, sería un proceso de reducción de espesores de las piezas, para reducir el peso del producto y mejorar su viabilidad económica. A esta tarea podrían seguir otras, como una segunda revisión de los ángulos de desmoldeo, ya que en la reducción de espesores se está alterando la geometría ya verificada, incluso un análisis por elementos finitos para verificar la robustez del diseño tras la reducción de espesores.

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

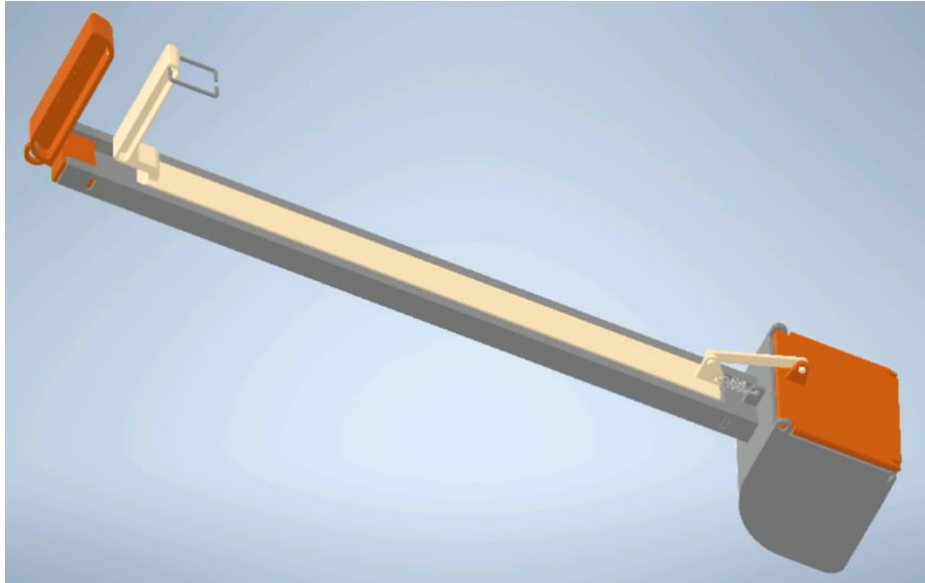


Ilustración 36. Captura del rediseño final del producto. Fuente: Elaboración propia en Autodesk Inventor.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Se ha realizado un análisis de diversos artículos sobre la materia Lean y relacionados. Tras el análisis de estos, se ha definido un marco de trabajo que proporciona herramientas y métodos para el diseño y desarrollo de productos de manera afín a la filosofía lean. A diferencia de otros marcos de trabajo, este propone su hibridación con Scrum para una mejor integración del flujo de trabajo. Esto diferencia al marco de trabajo definido, de otros que presentan una propuesta de herramientas de manera desarticulada, y falta de definición a un nivel de detalle más profundo.

Tras el ejercicio del caso práctico se concluye que es de suma importancia la inclusión del usuario en los procesos de desarrollo de productos. Esta inclusión no solo asegura una mejor competencia del producto en el mercado, sino que también garantiza la acogida del producto por parte del usuario y el uso de este. Los productos rechazados por los usuarios suponen un impacto ambiental injustificado, además de inversiones económicas sin el beneficio esperado por parte de las empresas desarrolladoras.

El producto escogido ha resultado un claro ejemplo de un desarrollo donde no se ha escuchado adecuadamente la voz del cliente. El ejercicio de rediseño realizado, además de servir como ejemplo ilustrativo del uso del marco de trabajo definido, ha demostrado su efectividad en el proceso de captación de las necesidades del cliente. En adición, el proceso creativo ha logrado alcanzar una solución, que aparte de contemplar funciones adicionales deseadas por los clientes, resulta razonablemente competitiva en el mercado, el análisis económico se detalla en el presupuesto.

Tanto la parte de índole más teórica, que se corresponde con la definición del marco de trabajo, como la parte más práctica, el ejercicio de rediseño, presentan resultados satisfactorios y prometedores. Aun así, como futuros alcances, sería interesante el empleo de esta metodología en proyectos de desarrollo de mayor complejidad, donde los equipos de diseño puedan llevar a cabo el correcto empleo de la metodología Scrum en la fase de diseño de detalle, pudiendo aportar perspectivas más completas sobre la aplicación integral del marco de trabajo.

PRESUPUESTO

CAPÍTULO 6. PRESUPUESTO DE LA DEFINICIÓN DEL MARCO

En este capítulo se ha recogido la estimación económica del ejercicio de definición del marco de trabajo. Aunque sea una actividad de índole teórica, se debe valorar la dedicación a estas tareas. A continuación, se adjunta una tabla en la que se desglosa el coste dividido en las diferentes etapas que se han dado durante el proceso.

Fase	Descripción	Semanas
Planificación	Definición del alcance y objetivos	0,2
Investigación	Busqueda de artículos relevantes y relacionados con el objeto de estudio,	1
Análisis	Lectura y análisis de los artículos seleccionados	1,8
Síntesis	Esquemas y relación de conceptos entre los artículos	1
Redacción	Redacción y elaboración del documento explicativo del marco	2

Total tiempo dedicado	6
Precio semana	760,00 €
Coste total	4.560,00 €

Tabla 4. Cálculo costes definición del marco de trabajo. Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 7. PRESUPUESTO DEL CASO PRÁCTICO

En este capítulo se realiza un estudio de la competencia económica del producto rediseñado. El producto original escogido se vende a un precio de 13,99€ la unidad ([Amazon](#)). Conociendo esto se realiza un ejercicio comparativo entre los posibles costes de producción de ambos productos.

Para el establecimiento del precio de mercado del producto rediseñado, cabe recalcar, que se supone un producto de mayor valor añadido, más grande, e indiscutiblemente con mayor número de funcionalidades. Dicho esto, resulta razonable que el precio de este producto, se pueda establecer superior al producto original, sin ser esto algo negativo, pues según la filosofía Lean defiende que el cliente está dispuesto a pagar por el valor perceptible de un producto. Por ello se establece un precio de 15,99€ para el producto rediseñado.

Como se quiere realizar una estimación económica lo más aproximada posible, se van a contemplar otros costes, propios de cualquier empresa, a parte de los que incumben al propio proceso productivo, la materia prima y mano de obra.

Se supone que la empresa tiene renovada y completamente amortizada toda la maquinaria que se utiliza en el proceso de producción. Por lo que no hay ningún coste a este respecto imputable al proceso de producción.

En una empresa, existen otros gastos que son indirectamente imputables al proceso de fabricación, ya que este no podría existir sin ellos. Entre estos se conciben gastos como la luz, el agua, portes, alquiler, o incluso otros salarios de personal no vinculado directamente a la producción. A continuación, se muestra la tabla donde se estiman estos costes y se supone una producción mensual de 5.000 unidades, para calcular la imputación de estos costes indirectos sobre el producto.

		Personal no vinculado directamente a la producción	10
Alquiler	2.000,00 €	Salario bruto anual	17.000,00 €
Luz	900,00 €	Seguridad Social	6.000,00 €
Agua	120,00 €	Coste anual	230.000,00 €
Limpieza	400,00 €	Coste mensual	19.166,67 €
Mantenimiento maquinas (materiales)	1.300,00 €		
Seguros	300,00 €		
Transporte	400,00 €	Total Indirectos mes	26.486,67 €
Otros	1.900,00 €	Unidades producidas mes	5.000
Coste mensual \ Total	7.320,00 €	Total costes indirectos por producto	2,65 €

Tabla 5. Cálculo de costes indirectos. Fuente: elaboración propia.

Tras aclarar estos costes indirectos, se procede a establecer los principales costes asociados a la producción.

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

Por una parte, el plástico escogido es el polipropileno, un plástico de uso común en la industria. Su precio varía entorno a 1 y 3 euros el kilogramo. Como se produce en grandes lotes, se supone un precio más cerca del límite inferior, 1,3€/Kg.

Por otra parte, se debe estimar el coste de las matrices de inyección. La pieza original tenía 6 componentes de plástico fabricados por inyección, de los cuales dos habían sido necesariamente inyectados en matrices con deslizadores laterales, y otra pieza presentaba una geometría compleja, en la que se identifica una línea de partición que se bifurca, que necesariamente ha sido inyectada en una matriz algo más compleja, de tres partes. Las tres piezas restantes se pueden inyectar en matrices simples. Suponiendo un coste de 10.000€ para las matrices simples, 15.000€ para las matrices con deslizadores y 20.000€ para la matriz de tres partes, se tiene un total de 80.000€ en costes de matricería para el producto original. Del mismo modo, para el producto rediseñado, se necesitan 6 matrices, 4 de ellas simples y 2 con deslizadores laterales, lo que resultaría en un total de 70.000€.

Cabe recordar que, el perfil extrusionado se ha supuesto que es un componente estandarizado, el cual se comprará a terceros. Sabiendo que su peso es de 90 gramos, y teniendo en cuenta el precio del polipropileno, se estimará su coste en función de estos datos y un coste por procesamiento, que es el que cobraría el suministrador. Este coste por procesamiento se ha supuesto en 0,2€ por unidad, razonable, teniendo en cuenta que la unidad se refiere a poco menos de medio metro de perfil extruido, con un peso de 90 gramos, el coste en polipropileno, resulta 0,12€, algo inferior al coste asociado por procesamiento.

Otro punto importante es el coste del ensamblaje. Como ya se ha mencionado, el tiempo de ensamblaje del producto original se ha estimado en un mínimo de 5 minutos. Mientras que el tiempo de ensamblaje del producto rediseñado se estima en un minuto. Con esta información, y suponiendo un coste de mano de obra de 15€/h, se ha calculado los costes asociados al ensamblaje.

Se supone un lote de producción de 25.000 unidades.

	Producto Original	Producto Rediseñado
Precio Polipropileno €/Kg	1,3	
Nº Uds. Producidas	25000	
Peso piezas inyectadas (g)	195	305
Peso piezas extrusionadas (g)		90
Coste procesamiento extrusion (€)		0,2
Costos de Moldes (€)	80000	70000
Mano de obra (€/hora)	15	
Tiempo ensamblaje (min)	5	1
Costes indirectos (€)	2,65	

Tabla 6. Costes estimados para la producción. Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se puede observar el cálculo realizado, con los datos que se han expuesto.

Definición y validación de un marco de trabajo que aplique las metodologías Lean en el desarrollo de nuevos productos y sus procesos de producción.

Partida	Producto Original	Producto Rediseñado	
Costos de Moldes	80.000,00 €	70.000,00 €	
Costo de Materia Prima	6.337,50 €	9.912,50 €	
Coste Materia extrusion + Coste procesamiento extrusión		7.925,00 €	
Costo de Ensamblaje	31.250,00 €	6.250,00 €	
Otros Costos Indirectos (estimado, incluye todos)	66.250,00 €	66.250,00 €	
Costo Total (Suma de costes relacionados con el total de la producción de piezas)	183.837,50 €	160.337,50 €	
Costo Unitario	7,35 €	6,41 €	
Precio venta (iva incluido)	13,99 €	15,99 €	
Precio venta (iva exluido)	11,56 €	13,21 €	
Beneficio por unidad	4,21 €	6,80 €	61,61%
Beneficio Total en euros	105.212,09 €	170.034,40 €	64.822,31 €

Tabla 7. Cálculo de costes de producción. Fuente: elaboración propia.

Además, como se puede observar, se ha incluido un análisis comparativo sobre los beneficios de los productos. El porcentaje diferencial, indica el mayor beneficio obtenido con el nuevo diseño. Dicho beneficio se estabiliza para tiradas más grandes, en un incremento de beneficio de prácticamente un 30%, tal y como se puede observar en la siguiente gráfica.

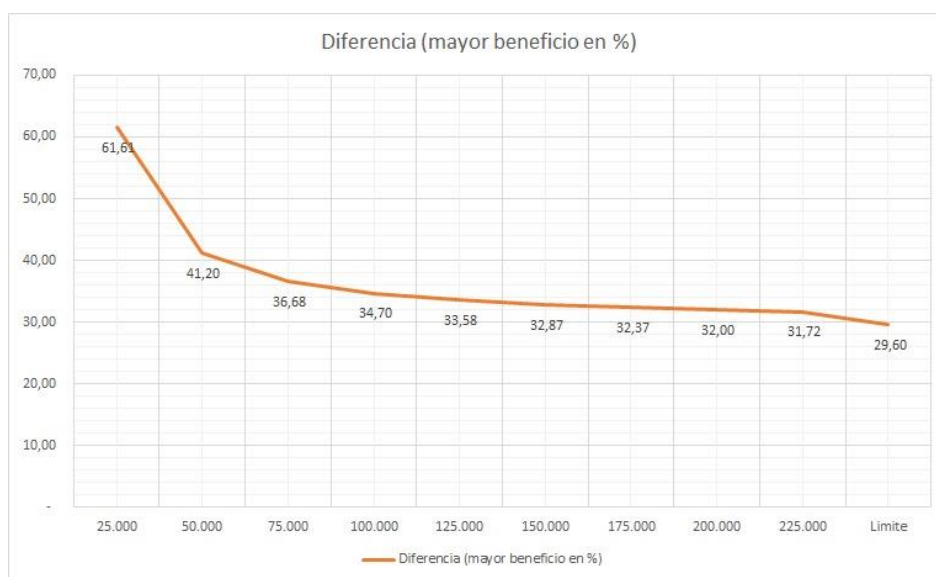


Ilustración 37. Gráfica análisis del incremento en beneficios en función del nº de uds. producidas. Fuente: elaboración propia.

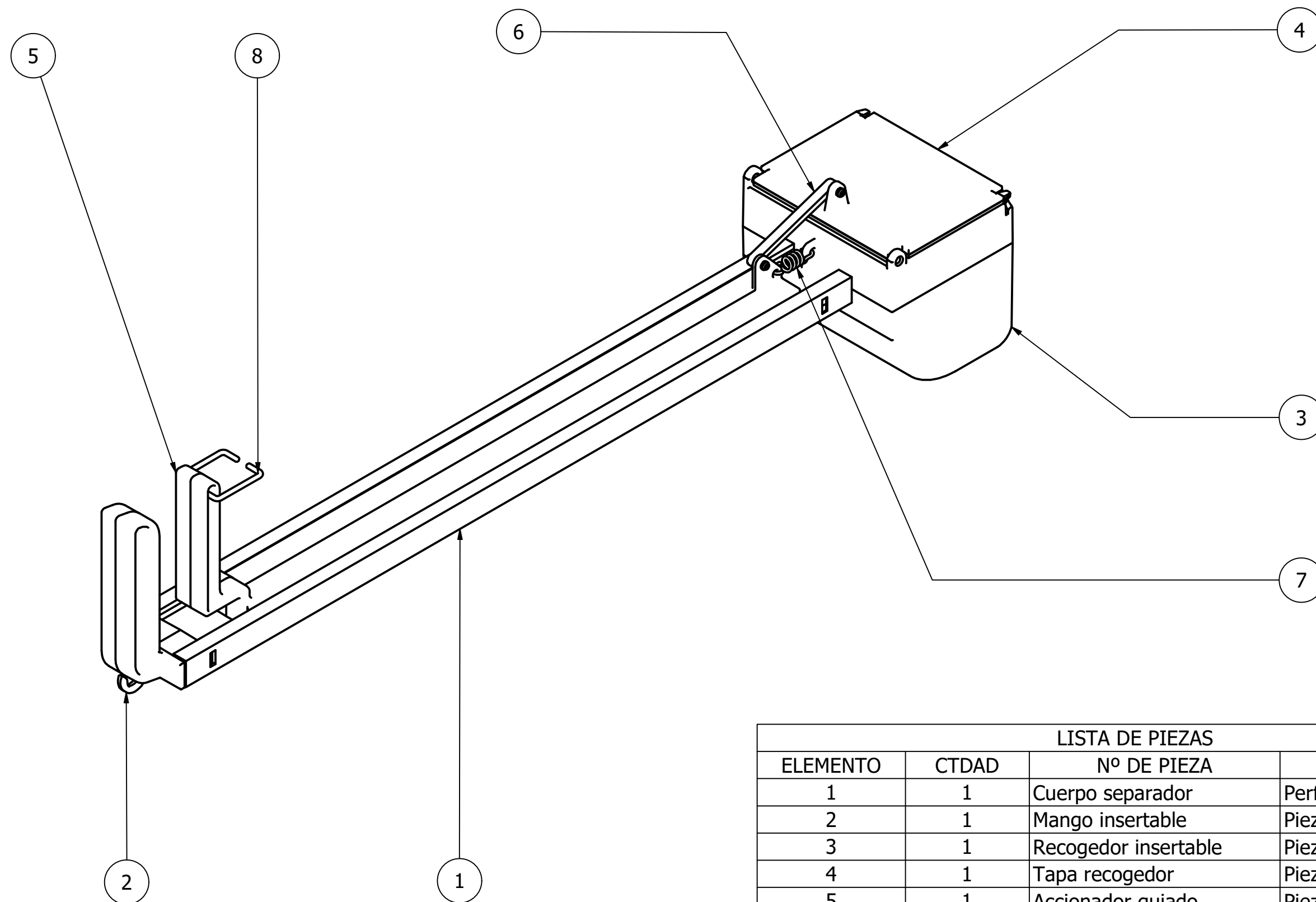
BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA

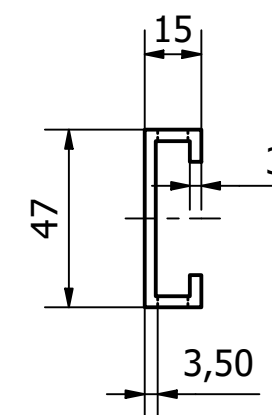
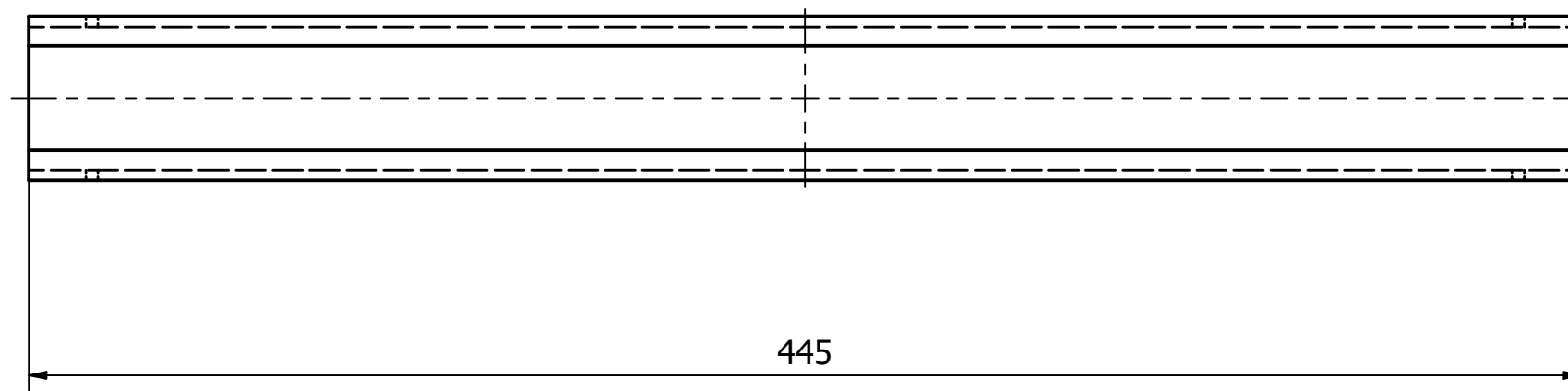
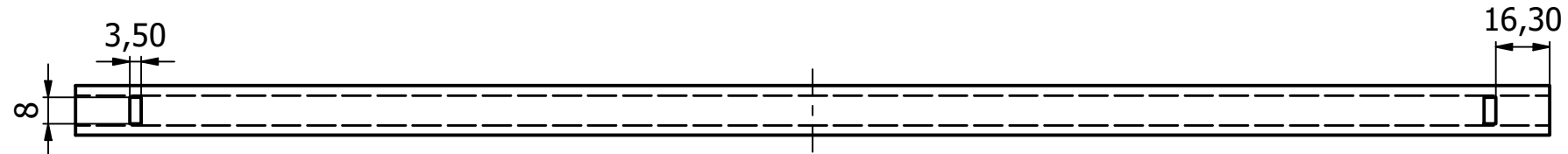
- Akao, Y. (1997). QFD: Past, Present, and Future. *International Symposium on QFD '97*, (págs. 1-12). Linköping.
- Baines, T., Lightfoot, H., Williams, G., & Greenough, R. (Septiembre de 2006). State-of-the-art in Lean Design Engineering; a Literature Review on White Collar Lean. *Journal of Engineering Manufacture*, 220(9), 1539-1547.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. (2011). *Product Design for Manufacture and Assembly*. CRC Press.
- Carmona Benjumea, A. (2001). Datos antropométricos de la población laboral española. *Prevención, trabajo y salud: Revista del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, 22-35.
- Cusumano, M. (1985). *The Japanese Automobile Industry: Technology and Management at Nissan and Toyota* (1ª edición ed., Vol. 122). Harvard University Asia Center.
- Dahmani, N., Belhadi, A., Benhida, K., Elfezazi, S., Touriki, F., & Azougagh, Y. (2022). Integrating lean design and eco-design to improve product design: From literature review to an operational framework. *Energy & Environment*, 189-219.
- El-Sayed, M. (2010). Lean Design for Integrated Product Realization. *SAE International*, 194-201.
- Flavia. (19 de Noviembre de 2018). *Cómo se llaman los huesos de las mano*. Obtenido de Quehowto: <https://quehowto.com/como-llaman-huesos-mano/>
- Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994-1011.
- Holweg, M. (Marzo de 2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25, 420-437.
- Korsunovs, A., Doikin, A., Kabir, S., Campean, F., Hernandez, E., Taggart, D., . . . Mills, G. (2022). Towards a Model-Based Systems Engineering Approach for Robotic Manufacturing Process Modelling with Automatic FMEA Generation. *Proceedings of the Design Society*, 1905-1914.
- Mathiowetz, V., Kashman, N., Volland, G., Weber, K., Dowe, M., & Rogers, S. (1985). Grip and Pinch Strength: Normative data for adults. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 69-74.
- Mazur, G. (2014). QFD and the New Voice of Customer (VoC). *International Symposium on QFD '14* (págs. 1-14). Estambul: QFD Institute.
- McCauley-Bush, P. (2011). *Ergonomics: Foundational Principles, Applications, and Technologies*. Boca Raton: CRC Press.

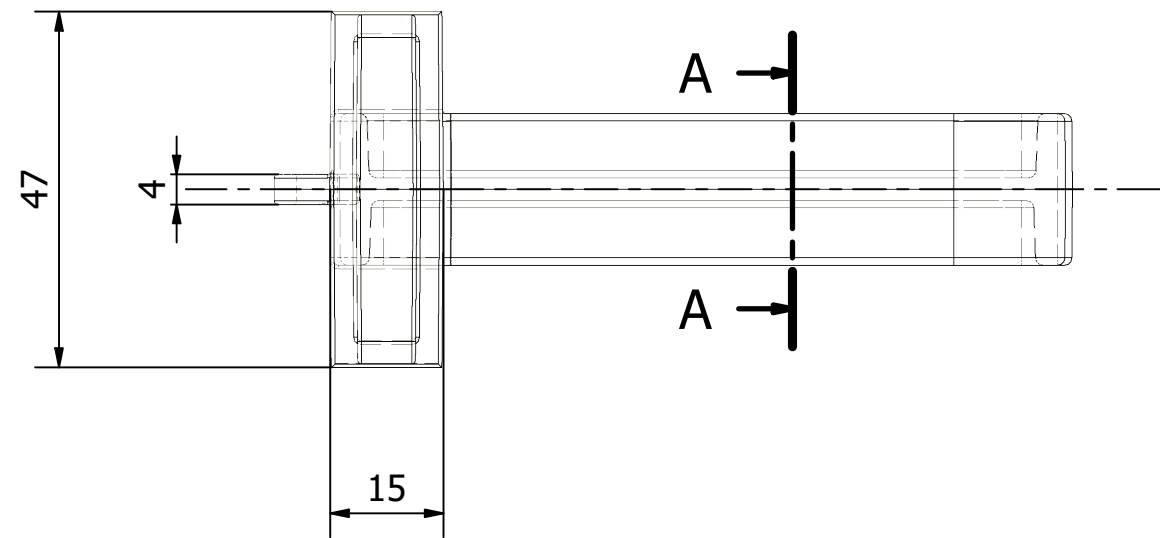
- Mikulak, R., McDermott, R., & Beauregard, M. (2008). *The Basics of FMEA*. Nueva York: CRC Press.
- National Research Council. (1991). *Improving Engineering Design: Designing for Competitive Advantage*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Oppenheim, B. (2004). Lean Product Development Flow. *Systems Engineering INCOSE*, 7(4), 352-376.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. (2007). *Engineering design: A systematic approach*. Londres: Springer London.
- Pavkovik, L. (25 de Febrero de 2016). *Yanado*. Obtenido de Blog de Yanado: <https://yanado.com/blog/ultimate-guide-to-scrum-project-management-framework/>
- Röchling Industrial. (Octubre de 2018). *Perfiles de plástico*. Obtenido de Roechling: https://www.roechling.com/fileadmin/downloads/Roechling_Industrial/Brochures/DE/Polystone/Polystone-M-Extruded-Profiles-EN-DE.pdf
- Ram Kumar, S., Nathan, V., Ashique, S., Rajkumar, V., & Arun Karthick, P. (2020). Productivity enhancement and cycle time reduction in toyota production system through jishuken activity – Case study. *Materials Today: Proceedings*, 964-966.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute.
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (Noviembre de 2020). *La Guía Definitiva de Scrum: Las Reglas del Juego*. Obtenido de Scrumguides: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-European.pdf>
- Scrum Network*. (28 de Enero de 2019). Obtenido de Web de Scrum Network: <https://www.scrumnetwork.com/blog/origenes-de-scrum>
- Snee, R. (2010). Lean Six Sigma – getting better all the time. *International Journal of Lean Six Sigma*, 9-29.
- Society of Manufacturing Engineers. (1983). *Tool and Manufacturing Engineers Handbook: Continuous Improvement*. Michigan: SME.

PLANOS

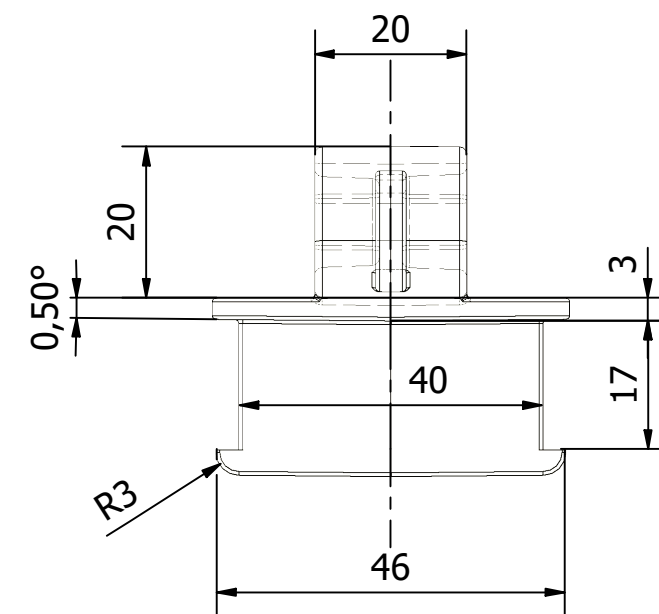
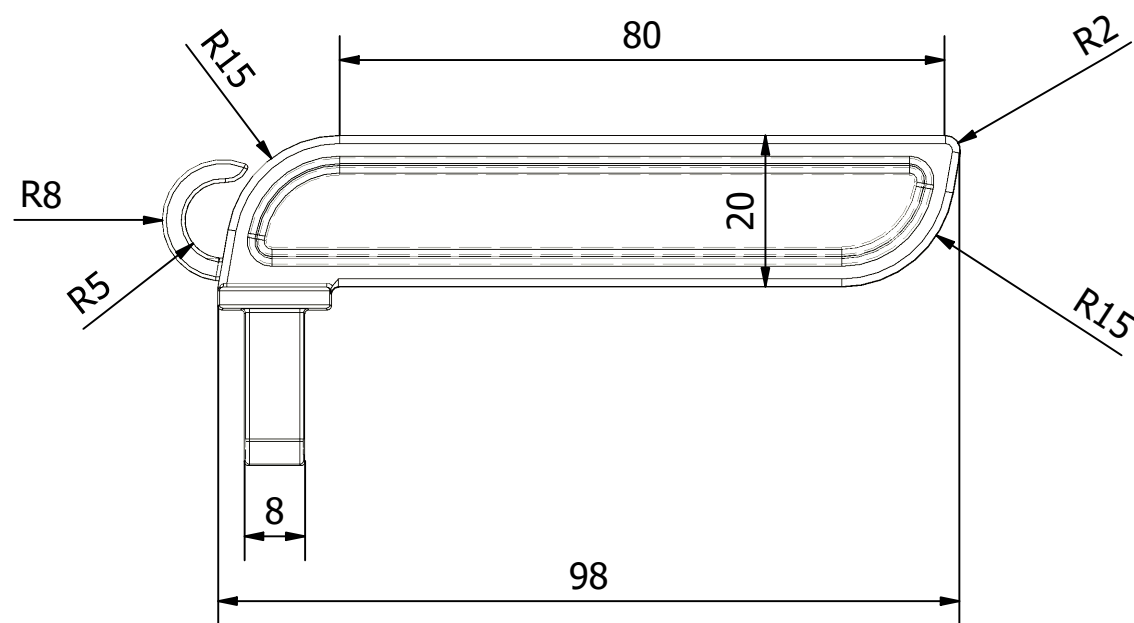
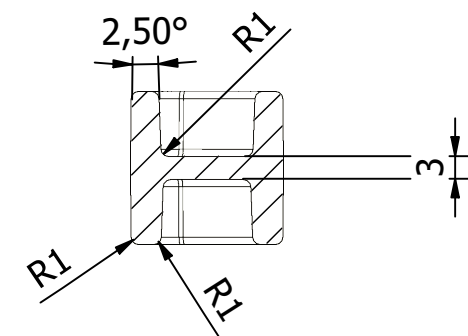


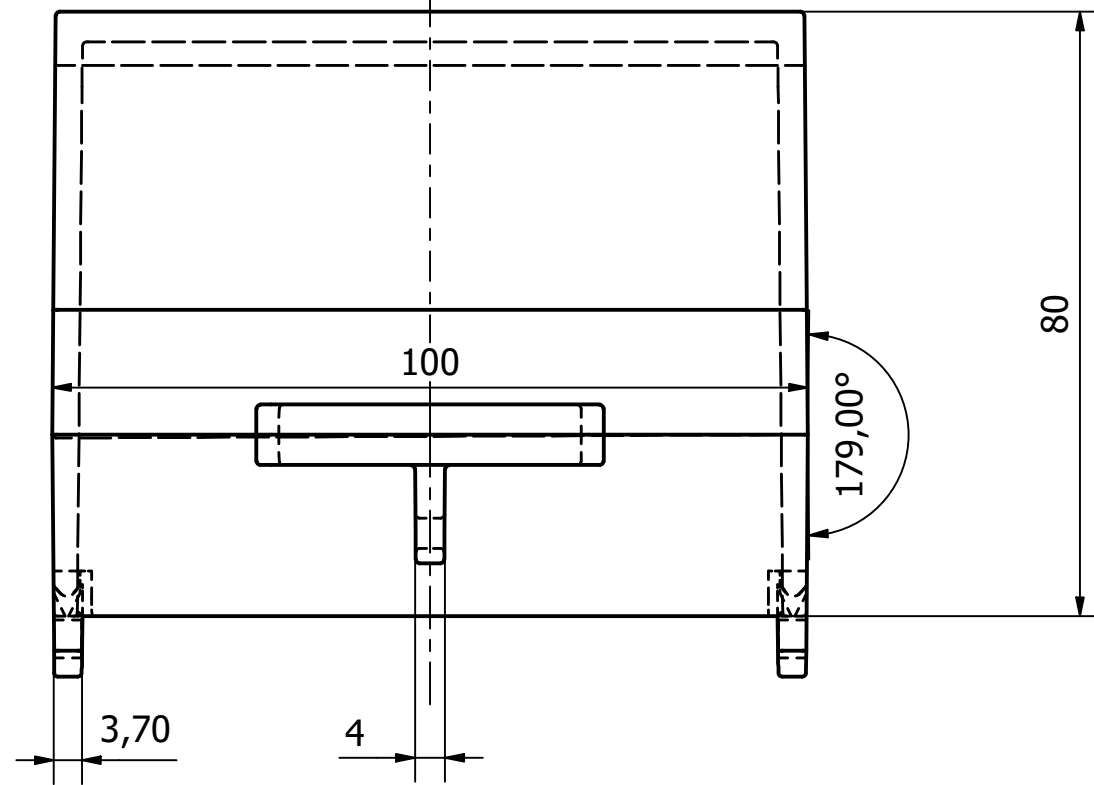
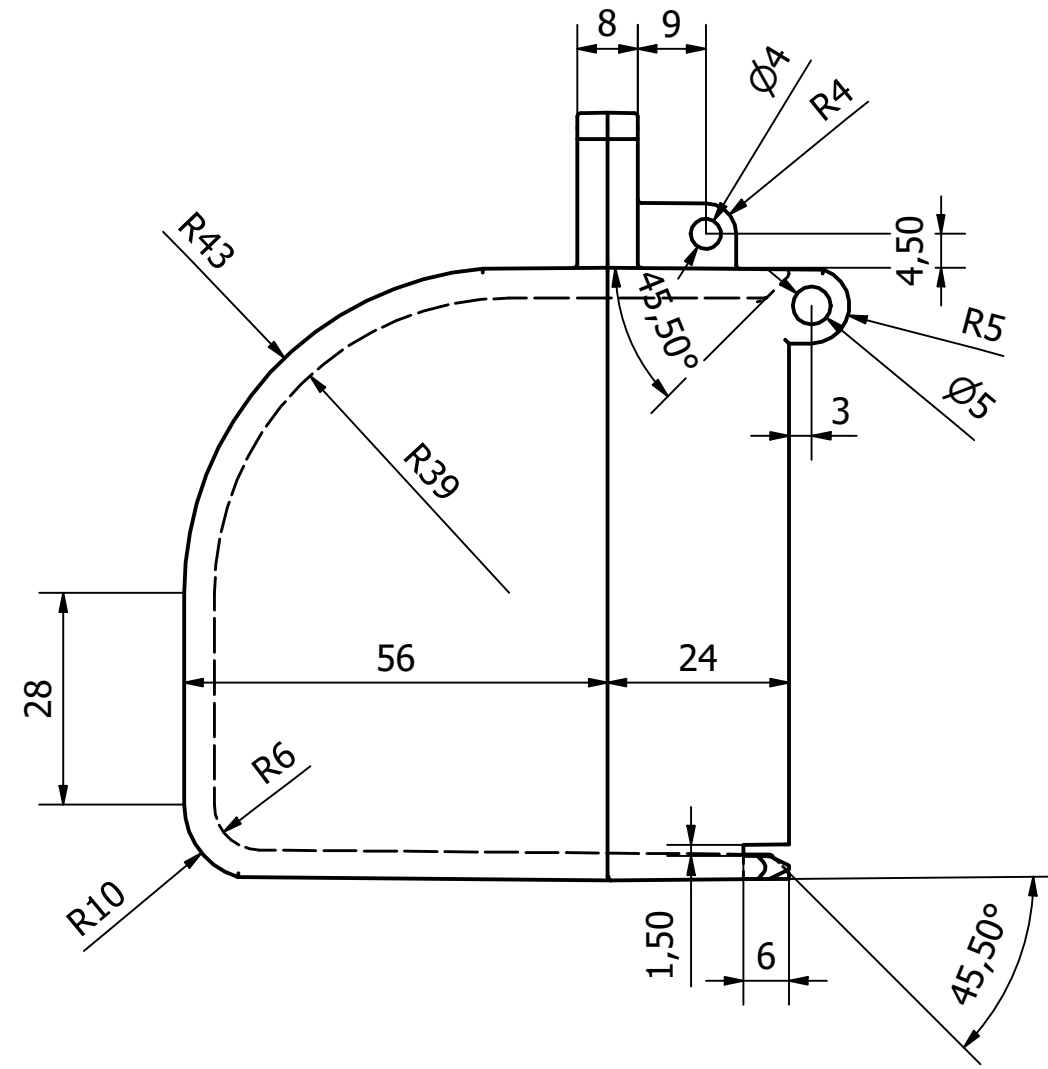
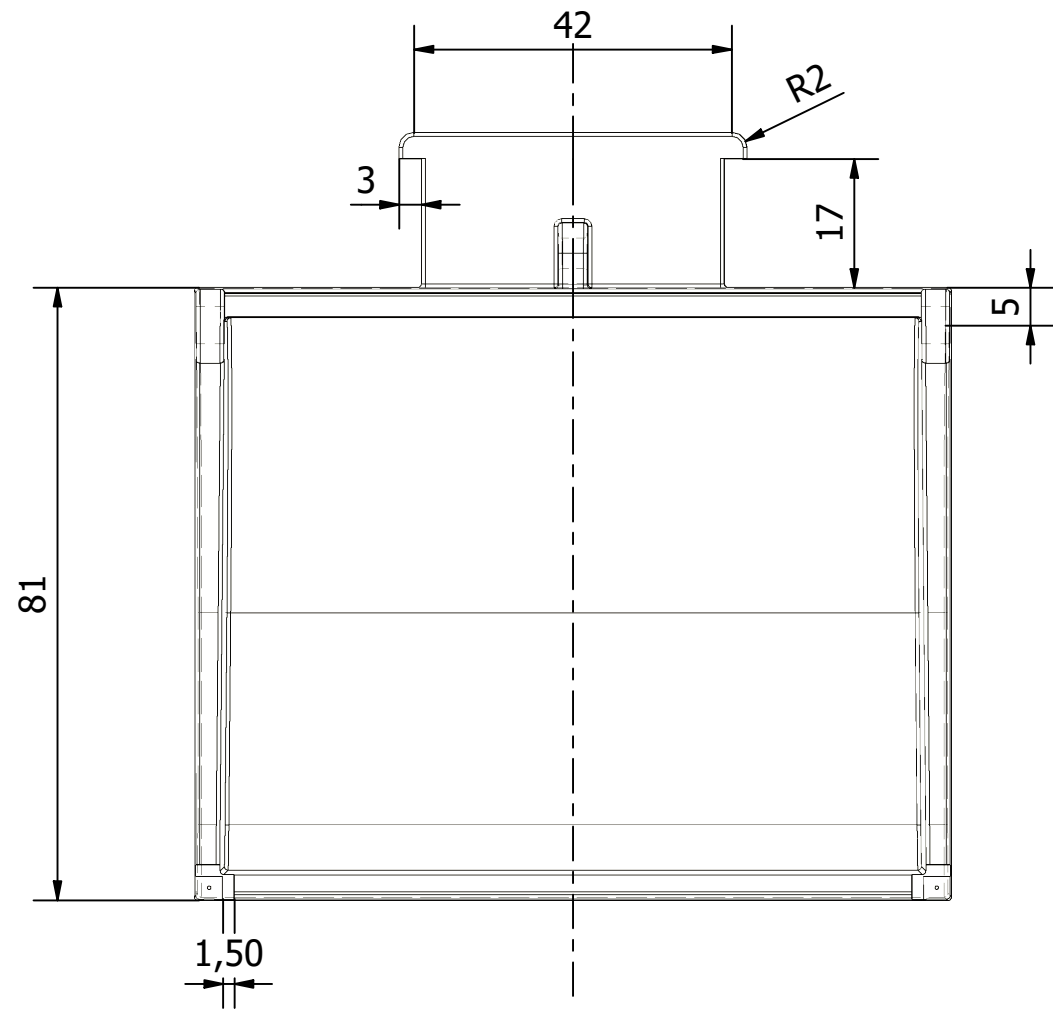
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Cuerpo separador	Perfil extruido
2	1	Mango insertable	Pieza inyectada
3	1	Recogedor insertable	Pieza inyectada
4	1	Tapa recogedor	Pieza inyectada
5	1	Accionador guiado	Pieza inyectada
6	1	Enganche tapa recogedor	Pieza inyectada
7	1	Resorte	Pieza estandarizada
8	1	Pieza de bloqueo	Pieza inyectada



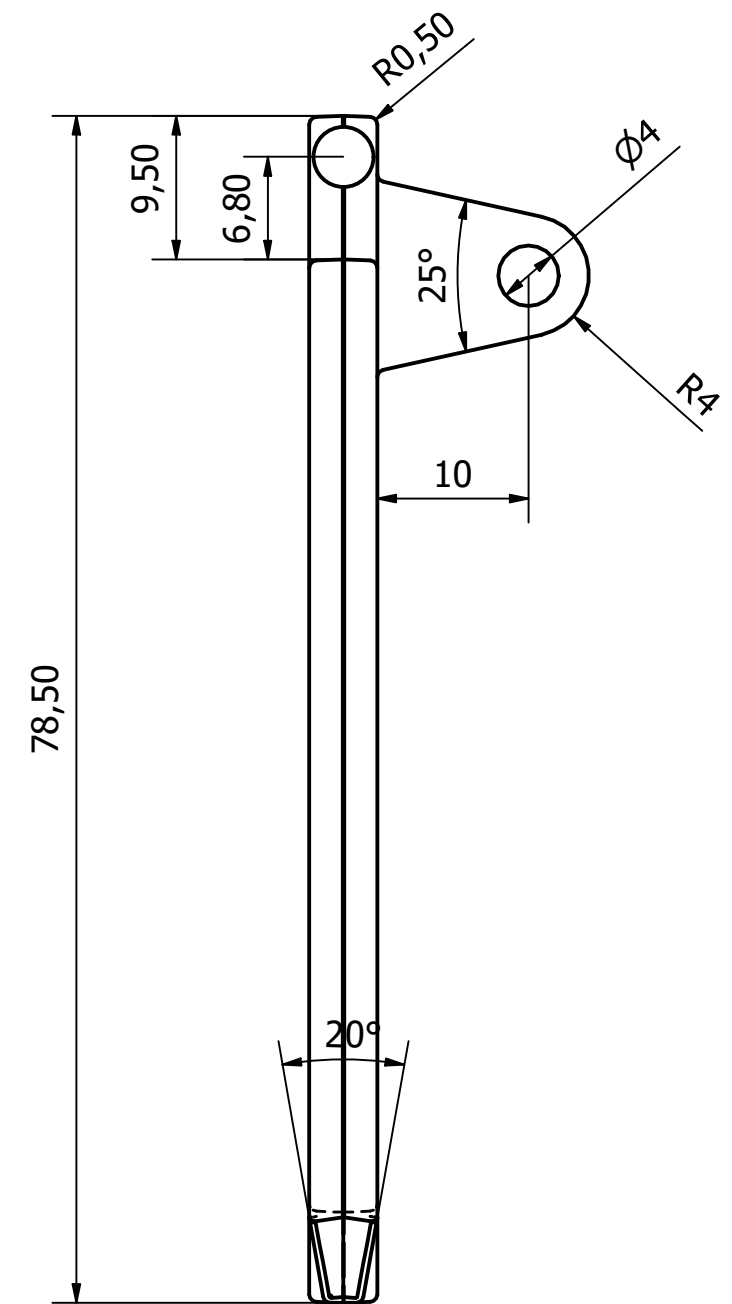
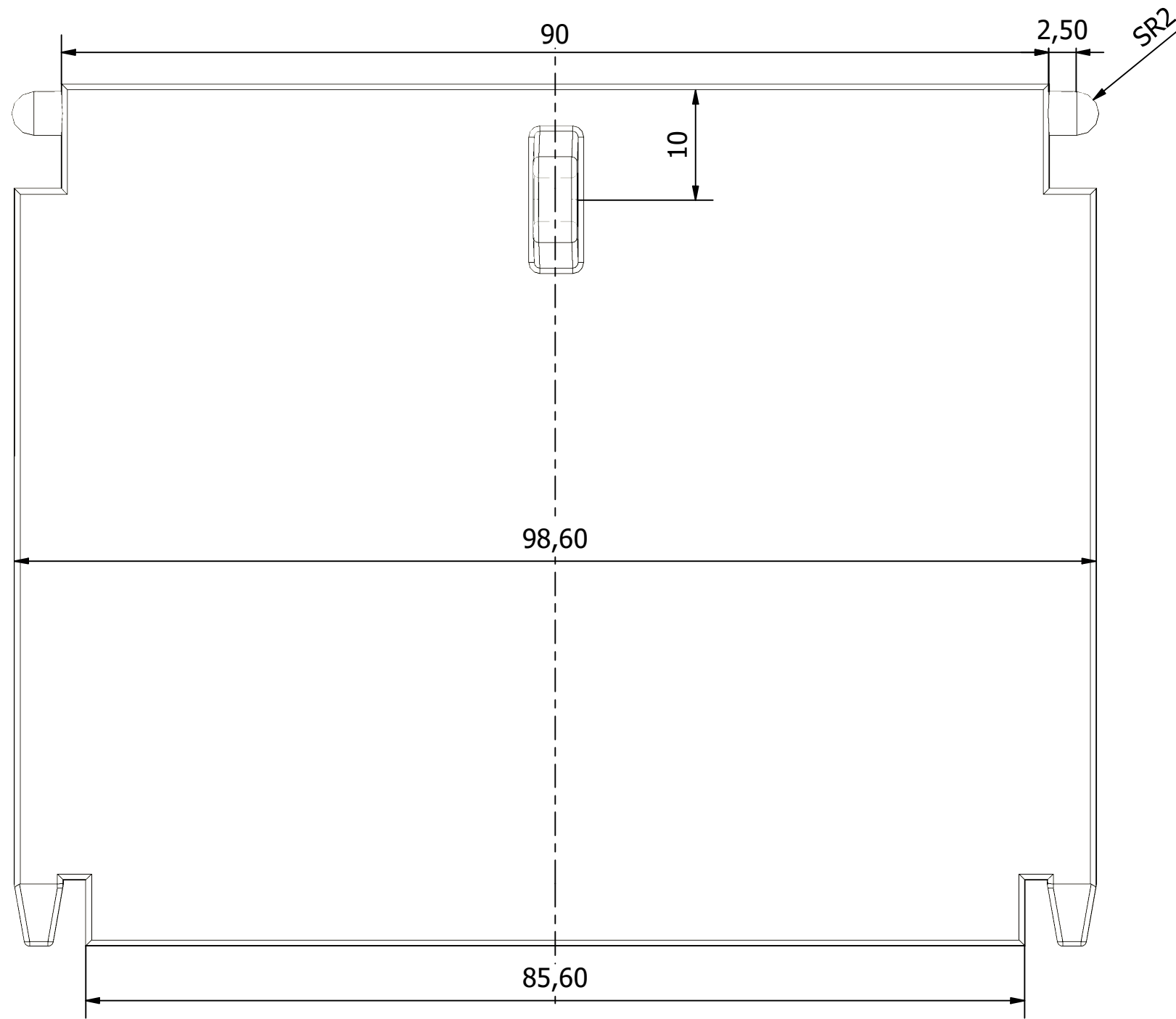
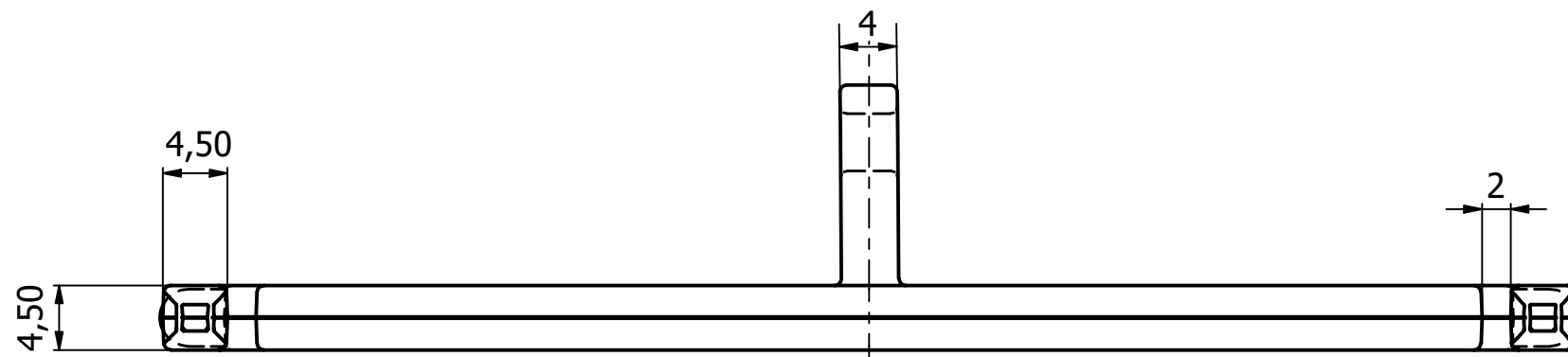


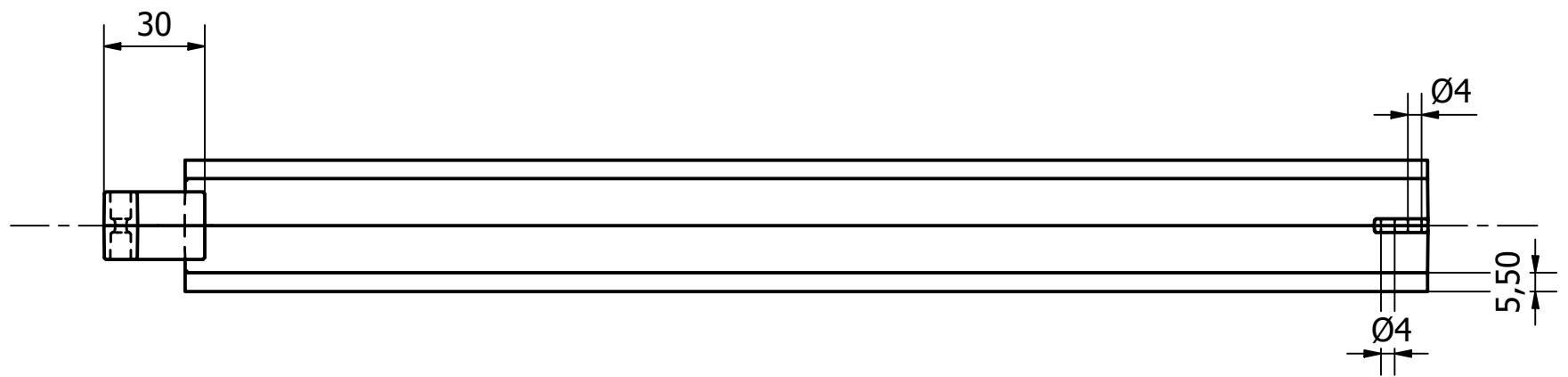
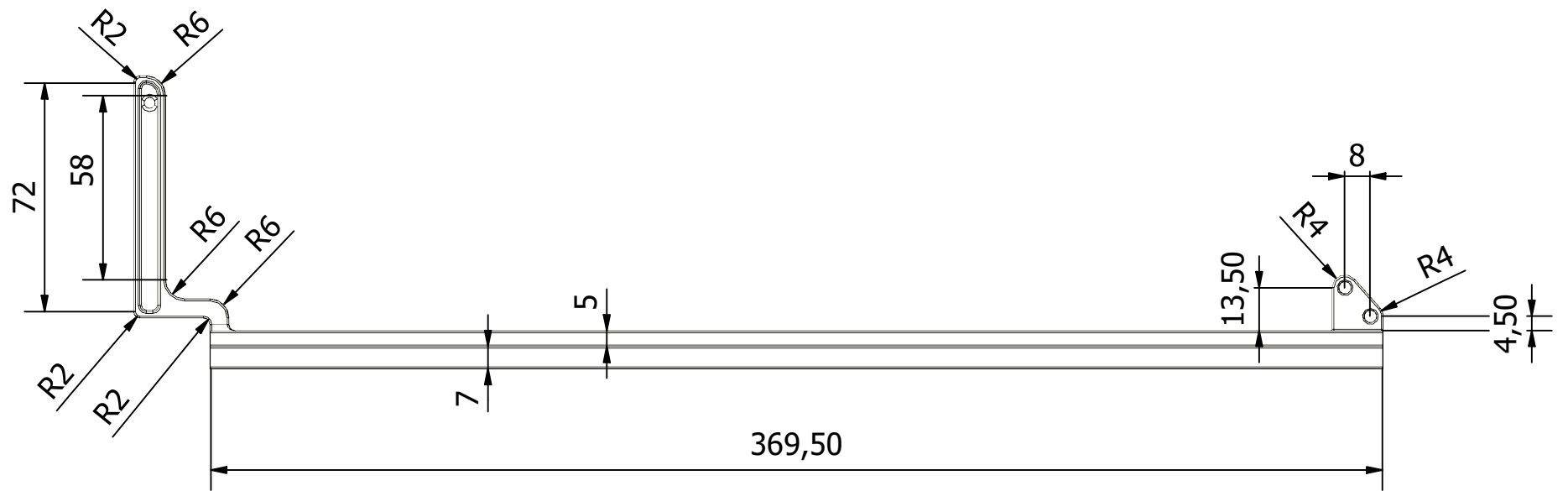
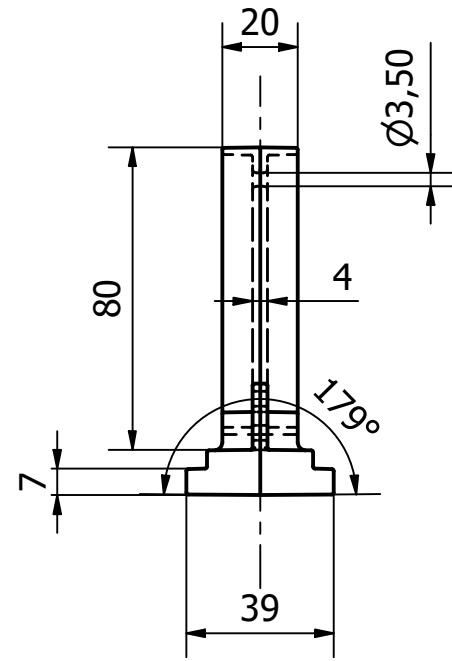
A-A (1 : 1)

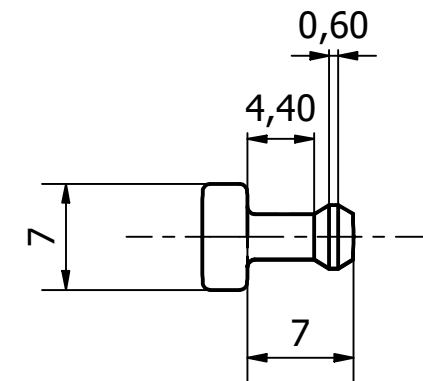
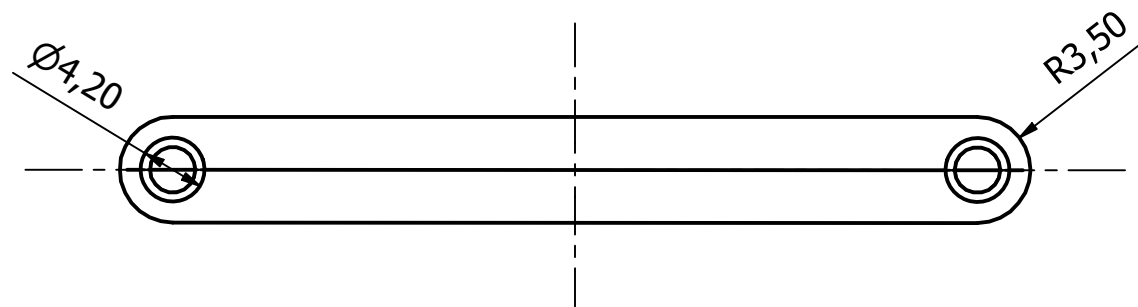
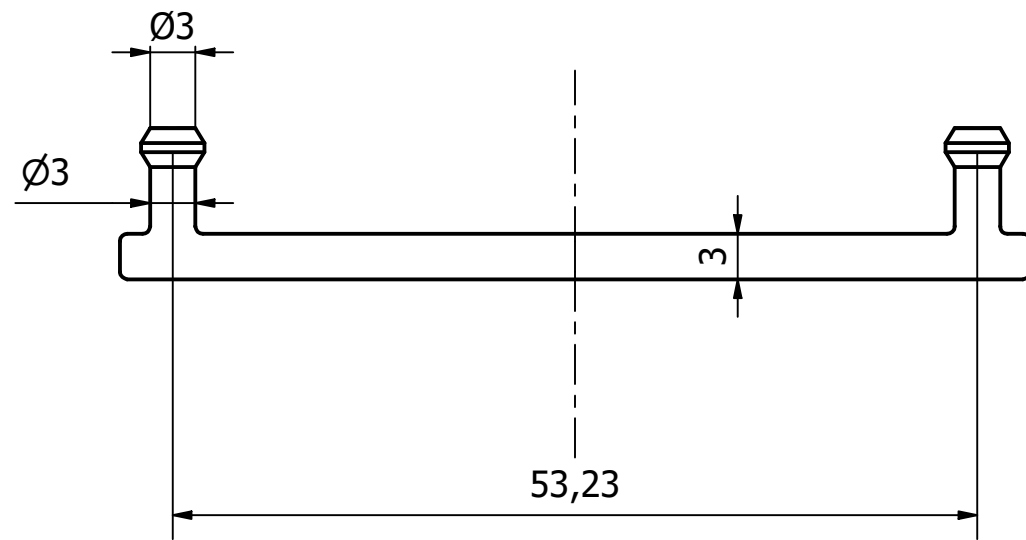




TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA	Proyecto: DISEÑO DE UN RECOGEDOR DE EXCREMENTOS DE PERRO	Plano: Recogedor insertable	Fecha: Septiembre 2024	Nº Plano: 4
		Autor: Jorge Lázaro Tarazón	Escala: 1:1	







A-A (4 : 1)

